



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN SISTEM PENGUKURAN RESPONS IMPULS
KANAL HF MIMO NVIS (*NEAR VERTICAL INCIDENCE
SKYWAVE*)**

Sarah Lasroma Manalu
NRP 2215 105 007

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN OF IMPULSE RESPONSE MEASUREMENT
SYSTEM FOR HF MIMO NVIS (*NEAR VERTICAL
INCIDENCE SKYWAVE*) CHANNEL**

Sarah Lasroma Manalu
NRP 2215 105 007

Supervisors

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Desain Sistem Pengukuran Respons Impuls Kanal HF MIMO NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*)”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



Sarah Lasroma Manalu
NRP. 2215105007

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**DESAIN SISTEM PENGUKURAN RESPONS IMPULS KANAL
HF MIMO NVIS (NEAR VERTICAL INCIDENCE SKYWAVE)**

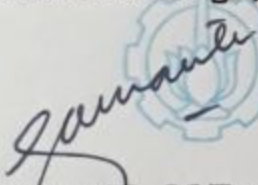
TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada**

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui


Dosen Pembimbing I,



Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D.

NIP. 197011111993031002

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

NIP. 196109031989031001



Desain Sistem Pengukuran Respons Impuls Kanal HF MIMO NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*)

Nama : Sarah Lasroma Manalu
Pembimbing : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRAK

Sistem komunikasi *High Frequency* (HF) pada frekuensi 3-30 MHz memanfaatkan ionosfer sebagai lintasan propagasi gelombang radio. Sistem komunikasi HF ini biasanya dipergunakan dalam bidang militer dan sipil karena penggunaannya yang mudah dan relatif murah. Dalam implementasinya terdapat daerah yang tidak dapat menerima sinyal biasa disebut dengan *skip zone* yang diakibatkan oleh gelombang pantul (*reflected wave*). Salah satu cara untuk menghilangkan daerah *skip zone* ialah dengan mengimplementasikan sistem komunikasi HF menggunakan NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*). Selain itu untuk meningkatkan ketersediaan kanal yang terbatas pada sistem komunikasi HF maka diimplementasikan juga antena MIMO 2x2 dengan memasang 2 buah antena yang dipasang *orthogonal* pada masing-masing pemancar dan penerima. Pemodelan kanal MIMO HF NVIS membutuhkan parameter respons kanal. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis melakukan perancangan desain sistem pengukuran untuk mendapatkan respons kanal sebagai dasar pemodelan kanal HF MIMO NVIS. Dengan daya pancar 20 Watt telah berhasil menguji ketersediaan *link* Surabaya–Malang. Dari hasil pengukuran sistem MIMO 2x2 tersebut menghasilkan 4 buah respons kanal yang diolah menggunakan *product detector* dan LPF dengan teknik Window Hamming.

Kata Kunci : komunikasi HF, MIMO 2x2, NVIS, respons kanal, sistem pengukuran.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Design of Impulse Response Measurement System for HF MIMO NVIS (Near Vertical Incidence Skywave) Channel

Name : Sarah Lasroma Manalu
Advisors : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRACT

High Frequency (HF) communications system at 3-30 MHz frequency utilizes ionosphere as a radio wave propagation path. HF communications system is usually used in military and civilian fields because of its easy and relatively inexpensive used. In the implementation, there are areas that can not receive the signal called skip zone caused by reflected wave. One way to eliminate skip zone area is to implement HF communications system using NVIS (Near Vertical Incidence Sykwave). In addition to increase the availability of channels that are limited by the HF communication system then implemented also MIMO 2x2 antenna by installing 2 antenna's mounted orthogonal on each transmitter and receiver. MIMO channel modeling HF NVIS requires channel response parameters. Therefore, in this final project the author did some designing of the measurement system to get the channel response as the basis of HF MIMO NVIS channel modeling. With 20 Watt transmitter power has successfully tested the availability of Surabaya–Malang links. From result measurement system of MIMO 2×2 produces 4 channel response which is processed using product detector and LPF with Hamming Window technique.

Keywords : *channel response, HF communications, MIMO 2x2, NVIS, measurement system.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

**“DESAIN SISTEM PENGUKURAN RESPONS IMPULS KANAL
HF MIMO NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*)”**

Tugas akhir ini merupakan syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Bapa, Mama, adik Jonathan, adik Ester dan adik Veronica yang selalu memberi dukungan baik materil maupun moril kepada penulis. *I love you Manalu's squad.*
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah mengarahkan dan membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen bidang studi Telekomunikasi Multimedia - ITS khususnya, yang telah memberikan ilmu, pengetahuan dan kesempatan bagi penulis.
4. Mahasiswa S3 yaitu Mbak Umaisaroh, Ibu Indah dan Pak Said beserta *HF Research Team* yang telah banyak membantu penulis.
5. Rekan-rekan seperjuangan di *Telco class '15 – LJ TMM* (Mbak Isma, Mas Ari, Aurum dan Ike) untuk kebersamaanya selama 1,5 tahun di ITS.
6. Rekan-rekan tercinta di *Abal Gangster's* (Vania, Rizki, Rika, Rizaldi, Nicco, Imam, Ari, Hendra, Giorgio) yang menjadi teman setia dalam suka maupun duka selama ini di ITS.
7. Rekan-rekan LJ Angkatan 2015 dan TMM Reguler 2013 untuk kekompakkannya selama ini.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini penulis menyadari adanya kekurangan karena keterbatasan yang penulis miliki, walaupun demikian penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2017
Penulis

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
TABLE OF CONTENTS	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR TABEL	xxvii

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sistem Komunikasi Radio HF	7
2.1.1 Mode Propagasi	8
2.1.2 Polarisasi	10
2.1.3 <i>Maximum Usable Frequency</i> dan <i>Lowest Usable Frequency</i> .	
.....	10
2.1.4 <i>Skip Distance</i> dan <i>Skip Zone</i>	11
2.1.5 <i>Link Budget</i>	12
2.2 Sistem Radio HF dengan Teknik NVIS.....	14
2.3 Sistem Multiantena MIMO.....	16
2.4 Antena Dipol	17
2.5 Respons Impuls Kanal	20
2.6 Pengukuran Respons Impuls Kanal	20
2.7 <i>Product Detector</i>	23
2.8 <i>Low Pass Filter</i>	24
2.9 Desain Filter Digital FIR	25
2.9.1 Prosedur Desain Filter Digital FIR	27

2.9.2 Tahapan Desain Filter Digital FIR.....	28
2.10 <i>Software Define Radio</i>	29
2.11 Akuisisi Data	30

BAB III PERANCANGAN SISTEM.....33

3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem	33
3.2 Kriteria Perancangan	34
3.2.1 Pemilihan Frekuensi Kerja.....	35
3.2.2 Penentuan Besar Daya Pancar	36
3.2.3 Penentuan SNR Minimum	36
3.2.4 Penentuan Waktu Pengukuran	37
3.2.5 Pemilihan Lokasi Pemancar dan Penerima	37
3.3 Perancangan Desain Sistem Pengukuran	38
3.4 Desain Sistem Keseluruhan.....	40
3.5 Proses Konektivitas Perangkat SDR	42
3.6 Desain Program Pemancar	43
3.7 Desain Program Penerima.....	45
3.8 Persiapan Perangkat Keras pada Sistem Pengukuran.....	48
3.8.1 Penggunaan Perangkat SDR	48
3.8.2 Perancangan Antena Horizontal Dipol	50
3.8.3 Penggunaan Perangkat Octoclock.....	54
3.8.4 Penggunaan Kabel MIMO.....	54
3.8.5 Penggunaan Antena GPS	55
3.8.6 Penggunaan Perangkat Amplifier HF	55
3.8.7 Penggunaan Perangkat <i>Low Noise Amplifier</i>	55
3.8.8 Penggunaan <i>Gigabit Ethernet</i>	56
3.8.9 Penggunaan Kabel Koaksial	57
3.9 Perhitungan <i>Link Budget</i> Kanal HF MIMO NVIS	57
3.10 Perhitungan Sudut Elevasi <i>Link</i> Surabaya–Malang	61

BAB IV PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS63

4.1 Sketsa Pengukuran	63
4.1.1 Lokasi Pengukuran	63
4.1.2 Pemasangan Antena.....	64
4.1.2.1 <i>Antena Pemancar</i>	64
4.1.2.2 <i>Antena Penerima</i>	65
4.1.3 Parameter Pengukuran	66
4.2 Tahap Implementasi Pengukuran	67
4.3 Pengujian Sistem disisi Pemancar	69

4.3.1 Hasil <i>Output</i> Sinyal.....	69
4.3.1.1 <i>Time Domain</i>	71
4.3.1.2 <i>Frequency Domain</i>	72
4.3.1.3 <i>Daya output amplifier</i>	75
4.4 Pengujian Sistem disisi Penerima.....	75
4.5 Sintesis.....	81
BAB V PENUTUP	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87
RIWAYAT PENULIS.....	93

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

TABLE OF CONTENTS

PAGE TITLE	i
STATEMENT ORIGINALITY OF FINAL PROJECT.....	v
APPROVAL SHEET	vii
ABSTRACT	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
FOREWORD.....	xiii
TABLE OF CONTENTS.....	xv
<i>TABLE OF CONTENTS</i>	xix
TABLE OF FIGURES.....	xxiii
TABLES.....	xxvii

BAB I PREFACE	1
1.1 Background	1
1.2 Problem	2
1.3 Limitation	2
1.4 Purpose	2
1.5 Methodology	3
1.6 Systematic Report.....	4
1.7 Relevance	5

BAB II BASIC THEORY	7
2.1 HF Communication System.....	7
2.1.1 Propagation Mode	8
2.1.2 Polarization	10
2.1.3 Maximum Usable Frequency and Lowest Usable Frequency.	10
2.1.4 Skip Distance and Skip Zone	11
2.1.5 Link Budget	12
2.2 HF Communication System with NVIS Technique	14
2.3 MIMO Multi-Antenna System	16
2.4 Dipole Antenna.....	17
2.5 Channel Response Impuls	20
2.6 Channel Response Impuls Measurement	20
2.7 Product Detector	23
2.8 Low Pass Filter	24
2.9 FIR Digital Desain.....	25
2.9.1 Procedure of FIR Digital Design.....	27

2.9.2 Step of FIR Digital Design	28
2.10 Software Define Radio	29
2.11 Data Acquisition	30

BAB III SYSTEM DESIGN33

3.1 Flowchart	33
3.2 Design Criteria	34
3.2.1 Selection of Working Frequency	35
3.2.2 Determination of Transmit Power	36
3.2.3 Determination of Minimum SNR	36
3.2.4 Selection of Measurement Time	37
3.2.5 Selection of Transmitter and Receiver Location.....	37
3.3 Measurement System Design	38
3.4 Overall System Design.....	40
3.5 SDR Device Connectivity Process	42
3.6 Design of Transmitter Program.....	43
3.7 Design of Receiver Program	45
3.8 Hardware Preparation in Measurement System	48
3.8.1 Use of SDR Devices	48
3.8.2 Dipole Antenna Design.....	50
3.8.3 Use of Octoclock Devices.....	54
3.8.4 Use of MIMO Cables.....	54
3.8.5 Use of GPS Antenna	55
3.8.6 Use of HF Amplifier	55
3.8.7 Use of Low Noise Amplifier	55
3.8.8 Use of Gigabit Ethernet Cable	56
3.8.9 Use of Coaxial Cable	57
3.9 Link Budget Calculation of HF MIMO NVIS Channel	57
3.10 Elevation Angle Calculation for Link Surabaya–Malang	61

BAB IV SYSTEM MEASUREMENT AND ANALYSIS63

4.1 Measurement Sketch	63
4.1.1 Measurement Location	63
4.1.2 Antenna Installation.....	64
4.1.2.1 Transmitter Antenna	64
4.1.2.2 Receiver Antenna.....	65
4.1.3 Measurement Parameters	66
4.2 Step of Measurement Implementation	67
4.3 Transmitter System Testing	69

4.3.1	Output Signal	69
4.3.1.1	Time Domain	71
4.3.1.2	Frequency Domain	72
4.3.1.3	Amplifier Output Power	75
4.4	Receiver System Testing	75
4.5	Synthesis.....	81
BAB V CLOSING.....		83
5.1	Conclusion.....	83
5.2	Suggestion	83
REFERENCE		85
APPENDIX		87
BIOGRAPHY		93

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Metodologi Penelitian.....	4
Gambar 2.1	Propagasi Gelombang Radio HF [8].....	7
Gambar 2.2	Lapisan Ionosfer [8].....	8
Gambar 2.3	Mode Propagasi Gelombang Sederhana [8]	9
Gambar 2.4	Mode Propagasi Gelombang Kompleks [8].....	9
Gambar 2.5	Propagasi Gelombang HF [9]	11
Gambar 2.6	Sudut elevasi gelombang radio untuk NVIS [2]	15
Gambar 2.7	Propagasi sinyal pada teknik NVIS [11].....	16
Gambar 2.8	Bagan umum sistem MIMO [11].....	17
Gambar 2.9	<i>Unbalance transmission line</i> terhubung pada antena dipol [14]	18
Gambar 2.10	Sinyal $x[n]$ dan sinyal-sinyal penyusunnya [16].....	20
Gambar 2.11	Pemodelan sistem kanal HF	23
Gambar 2.12	Filter LPF ideal	25
Gambar 2.13	Respons Frekuensi hasil perkalian respons impuls $h_d(n)$ ideal dengan window persegi.....	26
Gambar 2.14	Spesifikasi Filter Digital LPF	28
Gambar 2.15	Arsitektur SDR [20]	30
Gambar 3.1	Diagram alir perancangan sistem.....	33
Gambar 3.2	Alokasi penggunaan siaran pada panjang gelombang 40 meter	36
Gambar 3.3	<i>Link</i> Surabaya–Malang	37
Gambar 3.4	Perancangan pengukuran kanal HF MIMO 2x2 NVIS berbasis USRP	39
Gambar 3.5	Desain sistem keseluruhan pada pemancar.....	40
Gambar 3.6	Desain sistem keseluruhan pada penerima	40
Gambar 3.7	Deteksi perangkat USRP pada PC user	42
Gambar 3.8	Uji konektivitas perangkat USRP ke PC user	42
Gambar 3.9	Blok diagram program TX secara keseluruhan	43
Gambar 3.10	Blok diagram pembangkitan sinyal sinusoidal	44
Gambar 3.11	Blok diagram pengaturan perangkat USRP TX.....	44
Gambar 3.12	Blok diagram pengaturan frekuensi <i>carrier</i> dan perangkat sinkronisasi pada USRP TX	44
Gambar 3.13	Blok diagram pengaturan waktu error [ada perangkat USRP TX.....	45
Gambar 3.14	<i>Front Panel</i> bagian TX.....	45
Gambar 3.15	Blok diagram program RX secara keseluruhan	46

Gambar 3.16	Blok diagram pengaturan perangkat USRP RX	46
Gambar 3.17	Blok diagram pengaturan frekuensi <i>carrier</i> dan perangkat sinkronisasi pada USRP RX	46
Gambar 3.18	Blok diagram pengolahan sinyal terima menjadi <i>IQ Data</i>	47
Gambar 3.19	<i>Front Panel</i> bagian RX	47
Gambar 3.20	USRP N210 [27]	48
Gambar 3.21	Diagram blok USRP NI 210 [24]	49
Gambar 3.22	<i>Daughterboard</i> LFTX	50
Gambar 3.23	<i>Daughterboard</i> LFRX	50
Gambar 3.24	Desain perancangan antenna horizontal dipol pada frekuensi 7 MHz	51
Gambar 3.25	Bahan perancangan antenna horizontal dipol	52
Gambar 3.26	Antena horizontal dipol setelah fabrikasi	52
Gambar 3.27	Hasil pengukuran VSWR antenna perancangan	53
Gambar 3.28	Octoclock CDA 2990	54
Gambar 3.29	Kabel MIMO	54
Gambar 3.30	GPS Antena	55
Gambar 3.31	<i>Low Noise Amplifier</i> tipe ZFL-1000	56
Gambar 3.32	Kabel <i>Gigabit Ethernet</i>	56
Gambar 3.33	Koaksial kabel	57
Gambar 3.34	Ketinggian virtual menentukan jarak propagasi	58
Gambar 3.35	Perangkat pada sisi penerima	60
Gambar 3.36	Sudut elevasi <i>link</i> Surabaya–Malang	62
Gambar 4.1	<i>Link</i> Surabaya–Malang	63
Gambar 4.2	Posisi antenna pada sisi pemancar	64
Gambar 4.3	Posisi antenna pada sisi penerima	66
Gambar 4.4	<i>Baseband</i> spektrum sinyal disisi penerima	65
Gambar 4.5	Konfigurasi perangkat disisi pemancar	67
Gambar 4.6	Pemasangan antenna disisi pemancar	68
Gambar 4.7	Konfigurasi perangkat disisi penerima	68
Gambar 4.8	Pemasangan antenna disisi penerima	69
Gambar 4.9	Ilustasi jarak propagasi sinyal dari pemancar ke penerima	70
Gambar 4.10	Sinyal <i>IQ DC</i> pada TX1 dan TX2	71
Gambar 4.11	Hasil <i>output</i> sinyal pada Ch 1 dan Ch 2 dalam <i>time domain</i>	71
Gambar 4.12	Daya <i>output</i> keluaran USRP	72
Gambar 4.13	Hasil <i>output</i> Spektrum pada Ch 1	73

Gambar 4.14 Hasil <i>output</i> Spektrum pada Ch 2.....	74
Gambar 4.15 Daya <i>output</i> amplifier HF.....	75
Gambar 4.16 <i>Front Panel</i> sisi penerima.....	76
Gambar 4.17 LPF dengan window Hamming orde 800.....	77
Gambar 4.18 Pengolahan <i>IQ Data</i> untuk mendapatkan h11.	77
Gambar 4.19 Hasil respons kanal h11.....	78
Gambar 4.20 Hasil respons kanal h12.....	79
Gambar 4.21 Hasil respons kanal h21.....	79
Gambar 4.22 Hasil respons kanal h22.....	80

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis redaman pada propagasi gelombang langit	13
Tabel 2.2 Konvolusi menggunakan metode matriks	22
Tabel 2.3 Lebar pita transisi berdasarkan jenis windows [18]	26
Tabel 3.1 Alokasi spektrum frekuensi menurut IARU [23]	35
Tabel 3.2 Daya pancar maksimum setiap tingkatan	36
Tabel 3.3 Informasi lokasi pemancar maupun penerima	38
Tabel 3.4 Spesifikasi sistem pengukuran kanal HF MIMO NVIS	39
Tabel 3.5 Daftar perangkat yang digunakan dalam pengukuran	48
Tabel 3.6 Hasil pengukuran VSWR 4 buah antena horizontal dipol.....	53
Tabel 3.7 Redaman pada lintasan <i>skywave</i>	59
Tabel 3.8 Perhitungan <i>link budget</i>	60
Tabel 4.1 Hasil respons kanal pada pengukuran <i>link</i> Surabaya–Malang	81

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi HF (*High Frequency*) menggunakan gelombang radio pada frekuensi 3-30 MHz yang berpropagasi menggunakan *skywave* dengan memanfaatkan lapisan ionosfer [1]. Pada sistem komunikasi HF jarak jauh terdapat beberapa daerah yang tidak dapat menerima pancaran sinyal yang disebut dengan *skip zone* [2]. Daerah *skip zone* dapat diatasi dengan mengimplementasikan sistem NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*). NVIS adalah pemantulan satu kali oleh lapisan F ionosfer, dengan sudut pancaran mendekati 90^0 atau vertikal dengan menggunakan frekuensi kerja 3-10 MHz. Sehingga, sinyal yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer akan jatuh kembali ke area yang berjarak ± 300 km dari pemancar [3].

Sistem komunikasi HF memiliki kelemahan terutama pada daerah khatulistiwa atau ekuator karena terdapat fenomena yang disebut ESF (*Equatorial Spread F*) dimana fenomena ini menyebabkan terjadinya *delay spread* dan *time variation* yang berbeda setiap waktu yang mengakibatkan ketersediaan kanal yang rendah [4]. Sehingga, untuk meningkatkan ketersediaan kanal maka perlu diimplementasikan sistem antena jamak yaitu MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) pada sistem pengukuran ini. MIMO adalah sistem yang berfungsi untuk menaikkan ketersediaan dan kapasitas kanal pada sistem komunikasi radio. Caranya ialah dengan menggunakan antena jamak baik disisi pemancar maupun penerima [5] [6]. Adapun antena MIMO yang digunakan pada tugas akhir ini ialah skema MIMO 2×2 dimana antena jamak dipasang secara *orthogonal* disisi pemancar maupun penerima. Diharapkan penggunaan antena jamak yang saling *orthogonal* pada pemancar maupun penerima dapat mengurangi efek korelasi silang antara data yang dikirim dengan data yang diterima [7].

Hasil data berupa respons kanal pada sebuah sistem pengukuran radio didapatkan dengan melakukan perancangan desain sistem pengukuran terlebih dahulu. Adapun spesifikasi yang perlu ditentukan ialah jenis sinyal informasi yang akan dikirimkan, besar *bandwidth* sinyal pemancar, daya pancar, perhitungan *link budget*, desain program pada sisi pemancar (TX) maupun sisi penerima (RX), desain sistem rangkaian RF (*Radio Frequency*) dan lain-lain.

Berdasarkan uraian tersebut, maka perancangan desain sistem pengukuran menjadi bagian yang cukup penting untuk dipertimbangkan sebelum melakukan uji pengukuran dan evaluasi tahap lanjut. Desain sistem pengukuran kanal HF ini diimplementasikan pada *link* Surabaya–Malang. Dimana desain sistem pengukuran kanal ini menggunakan perangkat SDR (*Software Define Radio*) yaitu USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) dan *software* LabView Communications. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi untuk desain sistem pengukuran kanal HF MIMO jarak jauh.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara membuat sistem pengukuran kanal HF MIMO NVIS menggunakan SDR?
2. Parameter apa saja yang digunakan dalam merancang sistem pengukuran kanal HF MIMO NVIS?
3. Bagaimana cara mendapatkan respons kanal dari sistem pengukuran kanal HF MIMO NVIS?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Hasil respons kanal untuk *link* Surabaya–Malang.
2. Frekuensi HF yang digunakan adalah 7 MHz.
3. Data yang dikirim dari sistem transmitter berupa sinyal DC.
4. Data yang dikirimkan selama 10 detik.
5. Pengujian dilakukan pada pukul pagi, siang dan sore hari.
6. Sistem komunikasi MIMO yang diimplementasikan terdiri dari 2 buah antena pemancar (*transmitter*) dan 2 antena penerima (*receiver*) atau konfigurasi skema MIMO 2×2.
7. Sistem ini direalisasikan dengan menggunakan perangkat lunak yaitu LabView Communications.
8. Spesifikasi perangkat keras yang dijadikan referensi adalah USRP tipe N210 yang merupakan perangkat SDR (*Software Define Radio*).

1.4 Tujuan

Analisa dari hasil implementasi desain sistem pengukuran kanal HF NVIS dengan menggunakan antena jamak atau MIMO dapat

digunakan untuk mendapatkan kapasitas kanal MIMO juga untuk implementasi desain sistem komunikasi untuk HF MIMO kedepannya.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan metodologi sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Metode ini diperlukan untuk menjadi bahan referensi dalam pembuatan buku tugas akhir ini. Dimana jurnal-jurnal dan penelitian yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini berhubungan erat dengan sistem radio HF, implementasi teknik NVIS, sistem antena jamak atau MIMO, desain sistem komunikasi digital, dan perancangan desain sistem pengukuran untuk respons kanal.

2. Perancangan sistem

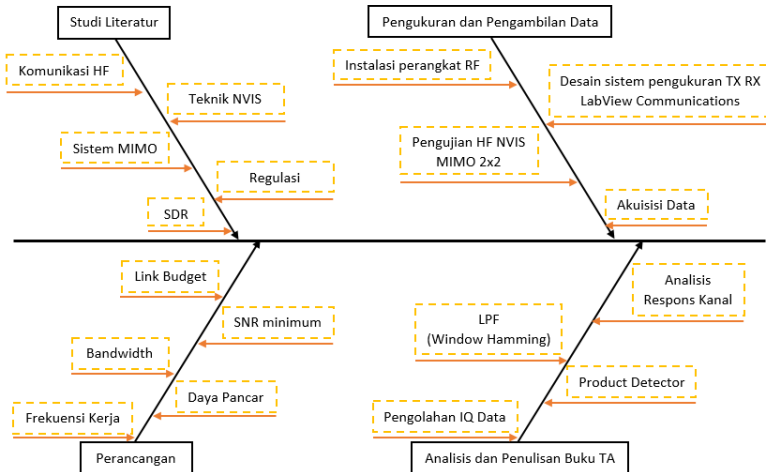
Pada tahap ini akan dilakukan desain sistem pengukuran untuk kanal HF NVIS MIMO meliputi jumlah antena pemancar maupun penerima, jenis sinyal informasi yang dikirimkan, frekuensi kerja, *bandwidth* sistem pada radio HF, perhitungan *link budget*, desain perancangan pengukuran menggunakan perangkat USRP dan metode pengolahan sinyal terima untuk mendapatkan bentuk respons kanal yaitu h_{11} , h_{12} , h_{21} dan h_{22} .

3. Implementasi sistem

Pada tahap ini dilakukan implementasi dari hasil desain sistem pengukuran yang telah dirancang. Perangkat yang digunakan dalam implementasi menggunakan SDR (*Software Define Radio*) yaitu USRP (*Universal Software Peripheral*). Tahap ini terdiri dari beberapa proses yaitu, konfigurasi sisi pemancar, konfigurasi sisi penerima, dan implementasi dari desain sistem pengukuran pada kota Surabaya dan Malang. Parameter yang akan dievaluasi dari proses implementasi ini adalah *IQ Data* pada sisi penerima yang diolah untuk mendapatkan bentuk respons kanal.

4. Penyusunan buku Tugas Akhir

Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap hasil pengukuran pada kanal HF MIMO NVIS. Hasil analisis kemudian disusun menjadi sebuah buku tugas akhir.



Gambar 1.1 Metodologi Penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, serta relevansinya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang tinjauan pustaka mengenai sistem komunikasi radio HF, teknik NVIS, sistem multiantena yaitu MIMO, perancangan *link budget* pada kanal HF, dan instrumen dan perangkat terkait, dan pengolahan sinyal untuk mendapatkan bentuk respons kanal.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Dalam bab ini membahas mengenai perancangan desain sistem pengukuran pada kanal HF NVIS yang menggunakan antena jamak yaitu skema MIMO 2×2 .

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas mengenai pengujian desain sistem pengukuran menggunakan SDR pada *link* Surabaya–Malang. Hasil pengujian ini akan diolah dan dianalisis untuk mendapatkan 4 buah bentuk respons kanal.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan berbagai proses yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1. Institusi Pendidikan dan Lembaga Penelitian
Perancangan desain pengukuran respons impuls kanal HF MIMO NVIS ini diharapkan dapat membantu pengembangan penelitian untuk sistem komunikasi kanal HF MIMO jarak jauh dikemudian hari.
2. Bagi Masyarakat
Penggunaan sistem komunikasi HF NVIS ini berguna untuk komunikasi darurat ketika terjadi bencana alam. Dimana sistem komunikasi seperti seluler, satelit, *microwave*, dan *fiber optic*, tidak mampu lagi untuk menangani komunikasi saat terjadi bencana alam.

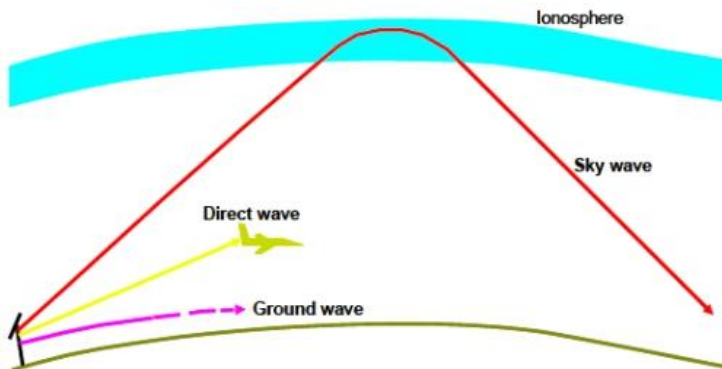
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Radio HF

HF (*High-Frequency*) merupakan sistem komunikasi radio yang memanfaatkan lapisan ionosfer sebagai pemantul sinyal gelombangnya. Komunikasi radio HF menggunakan pita frekuensi kerja yaitu 3-30 MHz. Gelombang yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer tersebut dinamakan gelombang ionosfer (*ionospheric wave*) atau gelombang langit (*skywave*). Gelombang dipantulkan oleh kumpulan partikel-partikel yang terionisasi di lapisan ionosfer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Gelombang yang diterima berfluktuasi sebanding dengan kondisi partikel yang ada di lapisan. Kondisi yang baik memungkinkan gelombang yang dikirimkan dapat dipantulkan kembali ke bumi pada jarak tertentu dengan kondisi gelombang yang tidak tembus ke luar angkasa [1].

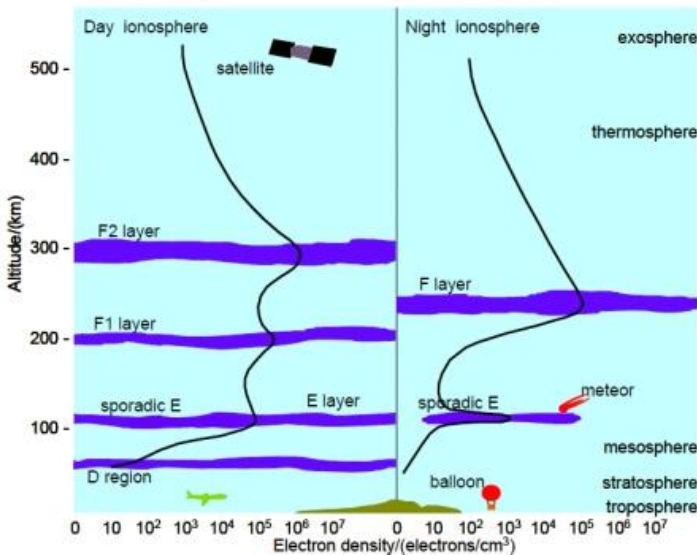


Gambar 2.1 Propagasi Gelombang Radio HF [8]

Lapisan ionosfer sebagai pemantul sinyal, terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan D, E, dan F. Masing-masing lapisan memiliki pengaruh bagi komunikasi radio HF. Gambar 2.2 menunjukkan bahwa lapisan F pada siang hari terbagi menjadi dua lapisan yaitu F1 dan F2, kemudian pada malam hari lapisan F akan menjadi satu lapisan. Karena lapisan F ini selalu tersedia baik waktu siang maupun malam hari, maka diharapkan gelombang radio dapat berpropagasi pada lapisan ini.

Pada siang hari radiasi matahari akan mencapai nilai maksimum. Sebaliknya, pada malam hari akan mencapai minimum. Hal itu dapat mempengaruhi propagasi gelombang radio HF.

Posisi matahari yang berubah-ubah terhadap titik-titik tertentu di bumi, dimana perubahan itu bisa terjadi harian, bulanan, dan tahunan. Tentunya perubahan posisi matahari tersebut akan mempengaruhi lapisan-lapisan ionosfer, sehingga karakteristiknya sulit untuk ditentukan [8].



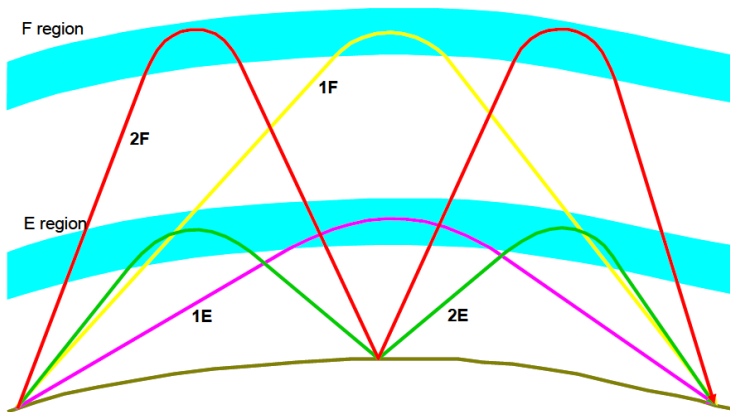
Gambar 2.2 Lapisan Ionosfer [8]

2.1.1 Mode Propagasi

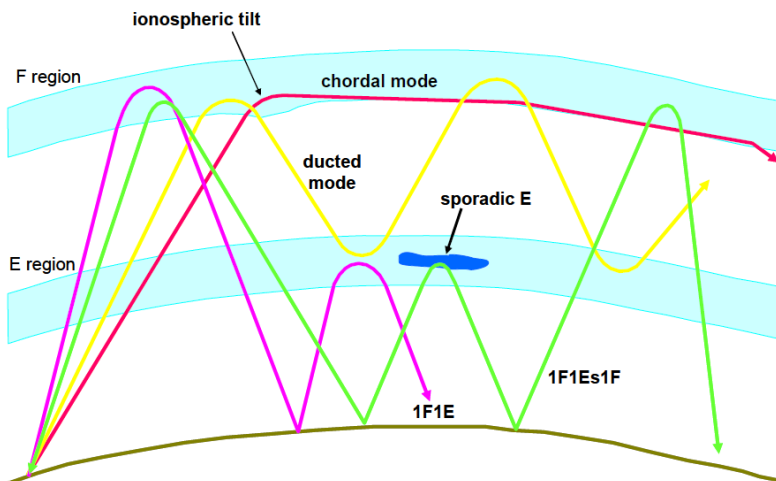
Mode propagasi merupakan lintasan atau jalur yang dilalui oleh gelombang radio untuk dapat berpropagasi dari pemancar ke penerima. Lintasan tersebut dapat banyak dan juga bervariasi bentuknya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Dimana gelombang radio yang keluar dari sebuah pemancar akan langsung mengambil dan menempati salah satu bentuk lintasan untuk dapat berpropagasi.

Mode propagasi yang memiliki nomer hop paling sedikit disebut *first order mode*. Sedangkan mode yang membutuhkan hop tambahan biasa disebut *second order mode* dan begitu seterusnya. Contohnya ialah

untuk sebuah lintasan dengan jarak 5000 km, maka akan memiliki *first order* pada mode F yaitu 2 buah hop (2F), kemudian memiliki *second order* pada mode F yaitu sebanyak 3 buah hop (3F) dan seterusnya.



Gambar 2.3 Mode Propagasi Gelombang Sederhana [8]



Gambar 2.4 Mode Propagasi Gelombang Kompleks [8]

Mode propagasi gelombang sederhana seperti pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa lintasan yang dilalui adalah per-satu buah lapisan ionosfer atau dapat dikatakan bahwa tidak menggunakan kombinasi penggunaan lapisan ionosfer. Sedangkan mode propagasi gelombang kompleks pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa lintasan yang dilalui oleh gelombang radio merupakan kombinasi dari beberapa lapisan ionosfer yaitu antara lapisan E, lapisan *sporadic*, dan lapisan F.

2.1.2 Polarisasi

Pada sistem komunikasi HF terdapat dua buah macam polarisasi antenna yang sering digunakan yaitu polarisasi vertikal dan polarisasi horizontal. Polarisasi vertikal untuk antenna vertikal monopoli memiliki medan listrik yang tegak lurus dengan bidang ekuator, sedangkan polarisasi horizontal untuk antenna horizontal dipol memiliki medan listrik yang sejajar dengan bidang ekuator.

Pada pemantulan gelombang di lapisan ionosfer maka gelombang tersebut terbagi menjadi dua buah gelombang karakteristik yang berpropagasi masing-masing di lapisan ionosfer. Kedua gelombang tersebut yaitu *ordinary wave* dan *extraordinary waves* yang berpolarisasinya secara elips atau *elliptically polarized*.

2.1.3 Maximum Usable Frequency dan Lowest Usable Frequency

MUF (*Maximum Usable Frequency*) merupakan frekuensi tertinggi antara dua buah stasiun radio yaitu pemancar dan penerima sehingga gelombang radio dapat dipantulkan ke angkasa. Besar nilai MUF bergantung pada frekuensi kritis dan sudut kedatangan antenna yang akan digunakan. Persamaan (2.1) digunakan untuk menghitung nilai MUF [1].

$$\text{MUF} = \frac{f_c}{\cos i} \quad (2.1)$$

Dimana:

f_c = *frequency critical*

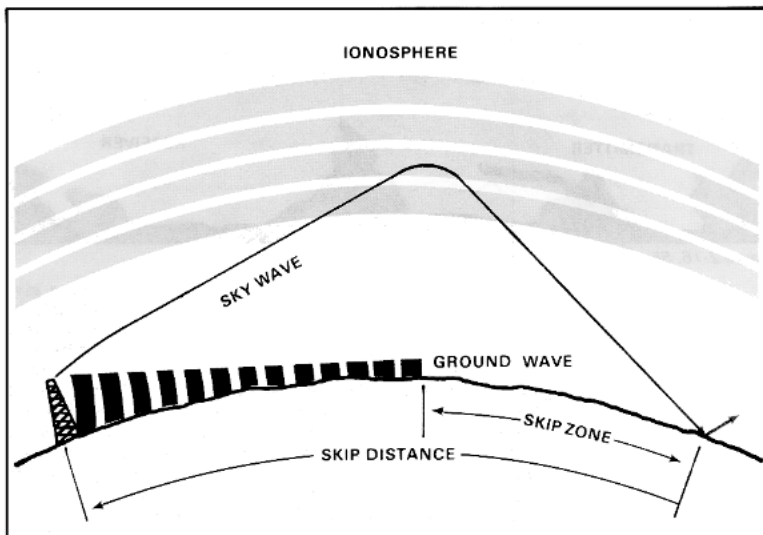
i = *angle of incidence*

LUF (*Lowest Usable Frequency*) juga dipengaruhi oleh lapisan ionosfer, khususnya oleh penyerapan sinyal *suffer* karena *invers* lapisan D. Penyerapan sinyal yang bergantung pada *invers* dari frekuensi,

sehingga frekuensi akan turun, juga menyebabkan meningkatnya penyerapan sehingga daya sinyal di penerima menjadi lemah. Efek propagasi ini sangat tidak efisien, malah cenderung bersifat memperburuk sinyal di penerima. Karena LUF sangat tergantung secara signifikan dengan jumlah penyerapan sinyal *suffer*, maka nilai LUF menjadi sangat bervariasi. Dengan kata lain, nilai LUF tertinggi terdapat pada siang hari, di musim panas, dan pada saat matahari bersinar maksimum.

2.1.4 *Skip Distance dan Skip Zone*

Perambatan propagasi pada gelombang HF dapat memanfaatkan 2 buah lintasan untuk dapat berpropagasi yaitu *groundwave* dan *skywave*. Akan tetapi pancaran sinyal melalui lintasan *groundwave* akan terhenti seiring dengan bentuk permukaan bumi yang melengkung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Sehingga pemanfaatannya hanya dirasakan untuk gelombang yang berpropagasi dengan jarak yang sangat pendek atau hanya beberapa kilometer saja. Sedangkan lintasan *skywave* dapat diandalkan untuk sistem komunikasi HF jarak jauh.



Gambar 2.5 Propagasi Gelombang HF [9]

Skip zone merupakan istilah yang sering didengar dalam sistem komunikasi radio HF. *Skip zone* merupakan wilayah yang terlewati atau daerah yang mana pancaran sinyal gelombang radio HF tidak sampai pada daerah tersebut. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh sudut pancar antenna. *Skip zone* amat dirasakan ketika mengimplementasikan frekuensi diatas 10 MHz sampai 30 MHz. *Skip zone* berbentuk gelang mengelilingi pemancar yang memiliki diameter dalam sejauh pancaran *groundwave* dan diameter luar sejauh *skip distance*. Oleh karena jarak capai *groundwave* yang sangat kecil, maka praktis diameter dalam *skip zone* diabaikan sehingga *skip zone* berbentuk lingkaran dengan diameter sebesar *skip distance*.

Penentuan besar *skip zone* dapat dilakukan dengan cara menggunakan rumus pendekatan jarak rambat terdekat (jrd) [10]. Jarak terdekat dapat dihitung jika diketahui besar nilai dari frekuensi yang digunakan (f_o), frekuensi kritis (f_c) dan besar ketinggian lapisan ionosfer (h').

$$jrd = 2h' \frac{\sqrt{f_o^2 - f_c^2}}{f_c} \quad (2.2)$$

Sehingga, jika frekuensi gelombang radio (f_o) lebih besar dari (f_c) maka gelombang radio tersebut memiliki jarak rambat terdekat. Sebaliknya jika frekuensi gelombang radio lebih kecil atau sama dengan f_c , maka berdasarkan Persamaan (2.2) akan didapatkan besar nilai jrd adalah imajiner atau 0, artinya tidak memiliki nilai jrd. Dimana daerah disekitar pemancar dengan radius sampai jrd inilah yang disebut dengan *skip zone* karena gelombang radio dengan frekuensi tersebut tidak dapat dipantulkan ke lapisan ionosfer. Daerah *skip zone* juga dapat berubah-ubah tergantung pada ketinggian lapisan ionosfer. Sehingga, semakin besar frekuensi yang digunakan maka semakin besar juga jrd atau daerah *skip zone*-nya.

2.1.5 Link Budget

Sebelum melakukan implementasi sistem radio HF perlu dilakukan perhitungan *link budget* untuk dapat mengestimasi seberapa besar daya pancar yang dibutuhkan untuk suatu sistem komunikasi radio pada jarak tertentu. Pada *link* radio HF terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi redaman pada lintasan *sykwave*, hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.1 [1].

Tabel 2.1 Jenis redaman pada propagasi gelombang langit [1]

Simbol	Nama Simbol	Nilai tipikal redaman (dB)
L_a	Redaman <i>absorption</i>	0-20 per hop
L_b	Redaman <i>free space</i>	5-20
L_g	Redaman <i>ground reflection</i>	0-3 per pantulan
L_p	Redaman <i>polarization coupling</i>	3-6
L_q	Redaman <i>sporadic E</i>	0-9

- Redaman *absorption*

Redaman *absorption* terjadi akibat adanya penyerapan daya di ionosfir pada lapisan E, sehingga gelombang radio tidak dapat diteruskan ke lapisan F. Jenis redaman ini dapat dihitung melalui persamaan linier berikut:

$$L_a \propto \frac{1}{f^2} \quad (2.3)$$

Dimana:

f = frekuensi kerja (MHz)

- Redaman *free space*

Redaman propagasi ruang bebas atau yang sering disebut dengan FSL (*Free Space Loss*) disebabkan oleh pancaran gelombang radio yang menyebar ke segala arah yang mengakibatkan pengurangan daya pada sisi penerima. Perhitungan redaman ruang bebas ini berguna untuk memprediksi besar daya sinyal di penerima, saat posisi pemancar dan posisi penerima pada lintasan segaris tanpa ada halangan di antara keduanya. Berikut merupakan persamaan dari redaman *free space* [25]:

$$L_b = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.4)$$

Dimana :

d = jarak antara pemancar dan penerima (m)

f = frekuensi kerja (Hz)

- Redaman *ground reflection*

Redaman ini dipengaruhi oleh nilai konduktivitas dan dielektrik dari pantulan gelombang di permukaan bumi. Biasanya pantulan dipermukaan air laut akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan permukaan bumi yang kering. Redaman ini berkisar antara 0 sampai 3 dB.

- Redaman *polarization coupling*

Redaman *polarization coupling* disebabkan karena adanya perbedaan polarisasi antara gelombang yang diterima dengan antena di penerima. Dimana redaman ini berkisar antara 3 sampai 6 dB.

- Redaman *sporadic E*

Redaman ini dipengaruhi oleh nilai frekuensi kritis di lapisan *sporadic E*.

- Redaman Total

Maka besar redaman total pada lintasan komunikasi HF dapat ditulis sebagai berikut:

$$A_T = L_a + L_{FSL} + L_g + L_p + L_q \quad (2.5)$$

Link budget ini diperlukan untuk dapat memperhitungkan besar daya pancar yang dibutuhkan, sehingga kualitas sinyal di penerima masih memenuhi batas atau standar yang diinginkan.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{A_TX} - L_{F_TX} - A_T + G_{A_RX} - L_{F_RX} \quad (2.6)$$

Dimana :

P_{RX} = Daya pemancar (dBm)

P_{TX} = Daya penerima (dBm)

G_{A_TX} = Gain antena pemancar (dB)

G_{A_RX} = Gain antena penerima (dB)

L_{F_TX} = Redaman kabel pemancar (dB)

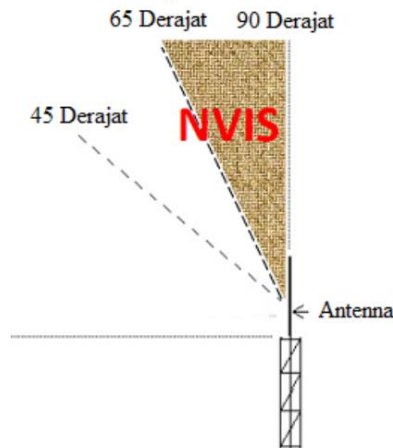
L_{F_RX} = Redaman kabel penerima (dB)

A_T = Redaman lintasan propagasi (*pathloss*) (dB)

2.2 Sistem Radio HF dengan Teknik NVIS

Sistem radio dengan teknik NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*) adalah gelombang radio HF yang dimana gelombang radionya dipancarkan dengan antena yang hampir tegak lurus ke atas dengan sudut elevasi dari 65^0 sampai 90^0 [2] yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Karena mempunyai sudut elevasi yang tinggi, maka NVIS dapat diimplementasikan dalam sistem radio HF untuk mengatasi dan menangani efek *skip zone*. Keberhasilan dalam mengimplementasikan sistem radio NVIS ini dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu: sudut elevasi, pemilihan frekuensi, dan besar daya *output* pada sisi pemancar. Adapun *range* frekuensi yang dapat digunakan dalam NVIS yaitu 3-10 MHz

dimana kriteria pemilihan frekuensinya berdasarkan MUF (*Maximum Usable Frequency*).

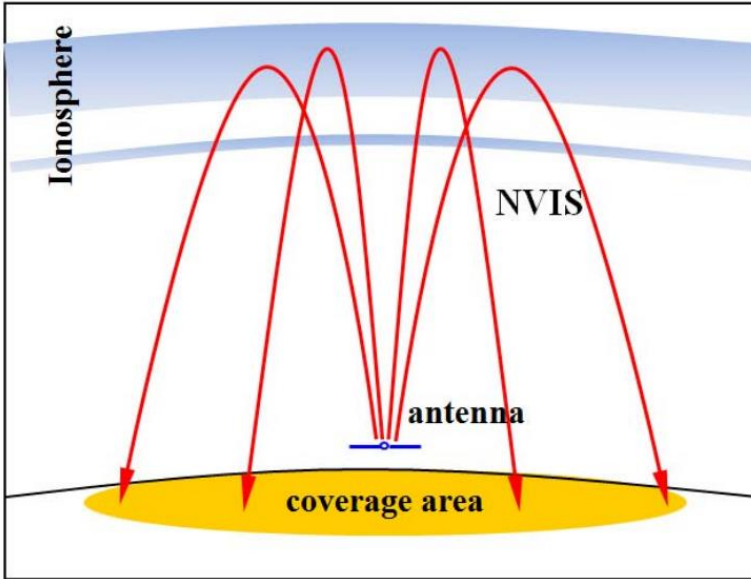


Gambar 2.6 Sudut elevasi gelombang radio untuk NVIS [2]

Propagasi sinyal dengan teknik NVIS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 dapat mencakup daerah ± 300 km [11]. Pada umumnya, penggunaan teknik NVIS pada lingkungan radio amatir ini biasanya menggunakan 2 buah pita frekuensi. Pita frekuensi pertama yaitu frekuensi 7 MHz yang digunakan pada siang hari, sedangkan pita frekuensi kedua yaitu frekuensi 3,5 MHz yang digunakan pada malam hari.

Adapun beberapa kelebihan dari sistem radio HF dengan menerapkan teknik NVIS adalah sebagai berikut:

- Tidak membutuhkan infrastruktur seperti *repeater* dikarenakan dua buah stasiun yang menggunakan teknik NVIS sudah dapat membangun sistem komunikasi yang handal tanpa dukungan dari pihak ketiga.
- Propagasi murni NVIS relatif bebas terhadap *fading*.
- Daratan rendah atau lembah tidak menjadi masalah bagi propagasi NVIS.
- Teknik NVIS dapat mengurangi *noise* dan interferensi, sehingga dapat meningkatkan besar SNR (*Signal to Noise Ratio*).

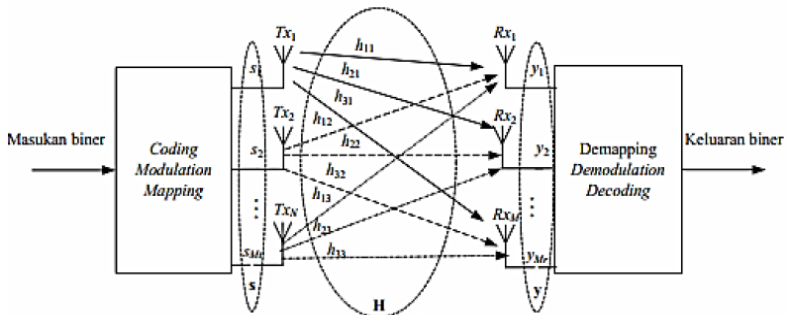


Gambar 2.7 Propagasi sinyal pada teknik NVIS [11]

2.3 Sistem Multiantena MIMO

Sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan penggunaan sistem nirkabel yang konfigurasinya adalah menyusun antenna jamak baik disisi pengirim maupun disisi penerima [6]. Tidak seperti sistem antenna konvensional yang sangat rentan terhadap *multipath*, sistem MIMO pada Gambar 2.8 justru bekerja sangat baik pada komponen *multipath*.

Komponen *multipath* dieksploitasi guna meningkatkan diversitas dan efisiensi *bandwidth* (bps/Hz). Semakin banyak objek pemantul/penghambur gelombang radio di lingkungan sekitar antenna justru akan semakin meningkatkan akurasi penerima dengan memilah-milah sinyal informasi dengan korelasi yang rendah dari antenna array di pemancar yang sudah saling tumpang tindih. Dengan demikian skema transmisi ini akan memberikan peningkatan secara linier pada efisiensi spektral.



Gambar 2.8 Bagan umum sistem MIMO [11]

Penggunaan sistem MIMO diharapkan mampu meningkatkan ketahanan radio *link* dengan cara memperbesar nilai SNR (*Sinyal to Noise Ratio*) atau kapasitas jalur data transmisi. Kapasitas sistem (C) MIMO dipengaruhi oleh *Bandwidth* (B), jumlah antenna pengirim (nT) dan jumlah antenna penerima (nR), hal ini dapat dirumuskan dalam Persamaan (2.7) berikut ini [12].

$$C = B \times \log_2 (1 + nT.nR.S/N) \quad (2.7)$$

Pengetahuan yang tepat mengenai kondisi dan karakteristik kanal MIMO sangat penting untuk mengevaluasi kinerja sistem MIMO. Untuk mengetahui pemodelan kanal MIMO dalam kondisi yang berbeda di lingkungan yang realistis diperlukan pengukuran respons kanal maupun kapasitas kanal [13].

2.4 Antena Dipol

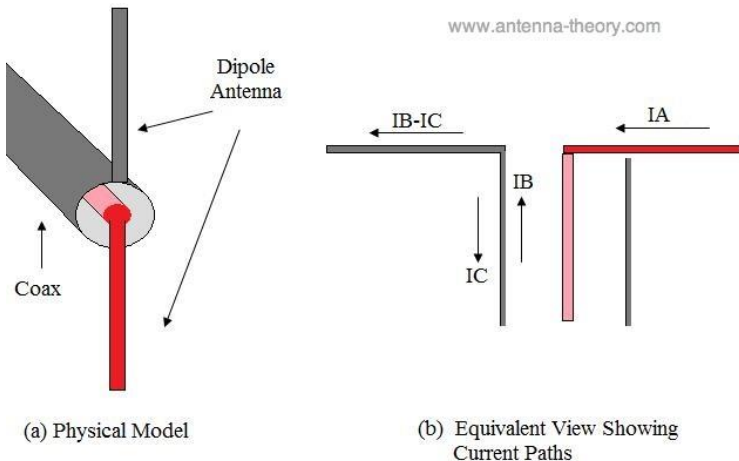
Antena adalah perangkat yang berfungsi untuk memindahkan energi gelombang elektromagnetik dari media kabel ke udara atau sebaliknya dari udara ke media kabel. Karena merupakan perangkat perantara antara media kabel dan udara, maka antena harus mempunyai sifat yang sesuai (*match*) dengan media kabel pencatunya. Prinsip ini telah diterangkan dalam saluran transmisi.

Sebuah antena dikatakan baik apabila mampu memancarkan gelombang elektromagnetik yang diterima dari generator ke ruang bebas

dengan efisiensi yang tinggi, dan dapat mengarahkan sebagian besar daya radiasinya ke arah yang diinginkan dan menekan radiasi ke arah yang lain.

Pancaran gelombang dengan efisiensi yang tinggi bisa dicapai apabila sebuah antenna memiliki tingkat penyesuaian yang baik antara saluran transmisi dan ruang bebas, atau secara lebih spesifik jika impedansi saluran transmisi sistem *transceiver* “*matched*” dengan impedansi radiasi antenna tersebut. Dalam hal ini antenna disebut sebagai *matching device*, yang merupakan fungsi yang pertama dari sebuah antenna. Sedangkan fungsi antenna yang lain adalah sebagai *directional device*, yaitu mengarahkan atau mengkonsentrasikan daya elektromagnetik ke arah yang diinginkan dan menekan radiasi ke arah lainnya.

Antena dipol merupakan antenna yang memiliki panjang antenna yaitu sebesar setengah lamda sedangkan antenna monopol memiliki panjang antenna sebesar seperempat lamda. Antena monopol terdiri dari batang lurus berbentuk konduktor, sering dipasang tegak lurus di atas beberapa jenis konduktif dipermukaan, yang disebut *groundplane*. Antena monopol sebenarnya merupakan antenna dipol ($\lambda/2$), dimana salah satu monopolnya ($\lambda/4$) diubah menjadi *groundplane*. Pada *groundplane* tidak ada daya yang diradiasikan, sehingga direktivitas antenna monopol adalah 2 kali dari direktivitas antenna dipol.



Gambar 2.9 Unbalance transmission line terhubung pada antenna dipol [14]

Antena dipol perlu menggunakan balun (*balance to unbalance*) apabila *feeder* yang digunakan berupa kabel koaksial. Penggunaan *balun* tersebut berfungsi sebagai *matching impedance*. Dimana impedansi antena dipol adalah sebesar $(73+j42,5) \Omega$ sedangkan *feeder* yaitu kabel koaksial memiliki impedansi sebesar 50Ω . Kabel koaksial ini bersifat *unbalance* sedangkan antena bersifat *balance*.

Antena dipol dapat bekerja dengan baik apabila kedua lengan atau kawat antena dicatu dengan arus yang sama. Apabila antena dipol langsung terhubung dengan kabel koaksial akan mengakibatkan arus pada kawat kanan tidak sama dengan pada kawat kiri dari antena seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Arus pada pusat konduktor (pusat inti merah / merah muda dari koaksial, diberi label IA) tidak memiliki tempat lain untuk dilalui, jadi harus mengalir sepanjang lengan dipol yang terhubung dengannya. Namun, arus yang berjalan di sepanjang sisi dalam konduktor luar (IB) memiliki dua pilihan: ia dapat melakukan perjalanan menyusuri antena dipol, atau menurun ke sisi luar dari konduktor luar kabel koaksial (IC). Idealnya, arus (IC) saat ini harus bernilai nol. Dalam hal ini, arus sepanjang lengan dipol yang terhubung ke konduktor luar akan sama dengan arus pada lengan dipol lainnya ini merupakan karakteristik antena yang diinginkan. Karena dipol menginginkan arus yang sama atau seimbang di sepanjang lengannya, sehingga antena bersifat *balance*. Namun berbeda dengan karakteristik pada kabel koaksial dimana beberapa arus dapat berjalan di bagian luar atau *outer* koaksial, yang menyebabkan kondisi *unbalance*. Solusi untuk masalah ini adalah menggunakan *balun* yang berfungsi untuk memaksa jalur transmisi yang *unbalance* pada komponen *balance*.

Suatu antena dapat dikatakan baik apabila memiliki parameter antena seperti VSWR yang bernilai kurang dari 2. VSWR adalah perbandingan antara amplitud gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ), yaitu [15]:

$$\Gamma_L = \frac{e_1^-}{e_1^+} = \frac{Z_1 - Z_m}{Z_1 + Z_m} \quad (2.8)$$

Dengan :

e^-_L = tegangan pantul
 e^+_L = tegangan datang

Z_L = impedansi beban
 Z_{in} = impedansi *input*

Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari adalah nol, maka :

- $\Gamma = -1$; refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat
- $\Gamma = 0$; tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna.
- $\Gamma = +1$; refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka

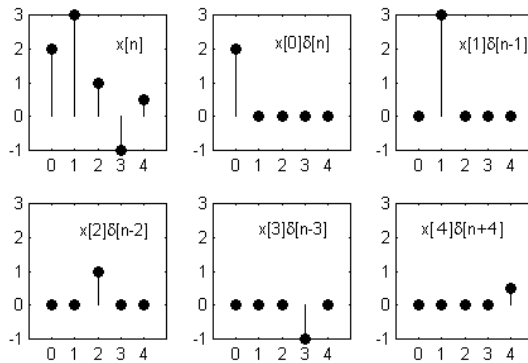
Sedangkan VSWR, dinyatakan sebagai berikut:

$$VSWR = \frac{|\bar{V}|_{max}}{|\bar{V}|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.9)$$

Dalam prakteknya VSWR harus bernilai lebih kecil dari 2 (dua).

2.5 Respons Impuls kanal

Respons impuls merupakan representasi sinyal dalam impuls yang menyatakan sinyal sebagai fungsi impuls atau menyatakan sinyal sebagai kumpulan dari impuls-impuls.



Gambar 2.10 Sinyal $x[n]$ dan sinyal-sinyal penyusunnya [16]

Pada Gambar 2.10 menunjukkan bahwa sinyal $x[n]$ terdiri atas lima impuls. Sedangkan yang lainnya adalah gambar dari penyusun impuls. Impuls-impuls yang tersusun tersebut diperoleh dengan mengkalikan sinyal $x[n]$ dengan impuls satuan yang digeser. Sehingga sinyal impuls $x[n]\delta[n]$ diperoleh dengan mengkalikan sinyal $x[n]$ dengan $\delta[n]$. Begitu juga dengan impuls $x[n]\delta[n-1]$ diperoleh dengan mengkalikan sinyal $x[n]$ dengan $\delta[n-1]$. Dan akhirnya tampak jelas bahwa:

$$x[n] = x[0]\delta[n-0] + x[1]\delta[n-1] + x[2]\delta[n-2] + x[3]\delta[n-3] \quad (2.10)$$

Secara umum, sebuah sinyal diskrit sembarang $x[n]$ dapat dinyatakan sebagai penjumlahan impuls-impuls:

$$x[n] = \sum_{k=-\infty}^{t=\infty} x[k] \cdot \delta[n - k] \quad (2.11)$$

Seperti pada sistem diskrit, sebuah sinyal kontinu sembarang dapat dinyatakan sebagai integral dari impuls-impuls:

$$x[n] = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \cdot \delta(t - \tau) d\tau \quad (2.12)$$

2.6 Pengukuran Respons Impuls Kanal

Untuk mendapatkan suatu bentuk respons impuls kanal, tahap pertama yang harus dilakukan adalah menggunakan fungsi autokorelasi dari sinyal yang dikirimkan. Sinyal yang dikirimkan $x(t)$ melalui suatu kanal ke sisi penerima menjadi sinyal terima $y(t)$. Fungsi autokorelasi didapatkan dengan cara melakukan konvolusi terhadap dua buah sinyal yaitu $x(t)$ dan $h(t)$ yang dinyatakan sebagai berikut:

$$y(t) = x[t] * h[t] = \sum_{k=-\infty}^{t=\infty} x[k] \cdot x[t - k] \quad (2.13)$$

Adapun langkah-langkah konvolusinya sebagai berikut:

- Menentukan pencerminan sinyal kedua $h[-k]$
- Untuk $n=0$, $h[-k]$ digeser sejauh 0
- Untuk $n=1$, $h[-k]$ digeser sejauh 1, dan seterusnya sebanyak ukur sinyal $x(t)$ dna $h(t)-1$.

Proses konvolusi dapat diselesaikan dengan menggunakan metode matriks seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Konvolusi menggunakan metode matriks

	x[0]	x[1]	x[2]
h[0]	h[0].x[0]	h[0].x[1]	h[0].x[2]
h[1]	h[1].x[0]	h[1].x[1]	h[1].x[2]
h[2]	h[2].x[0]	h[2].x[1]	h[2].x[2]

Pembacaan nilai $y[t]$ dari Tabel 2.2 dilakukan secara silang yaitu sebagai berikut:

$$y[0] = h[0].x[0]$$

$$y[1] = h[1].x[0] + h[0].x[1]$$

$$y[2] = h[2].x[0] + h[1].x[1] + h[0].x[2]$$

$$y[3] = h[3].x[0] + h[1].x[2]$$

Dengan demikian, dapat diketahui bahwa autokorelasi didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_{xx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t) \cdot x(t - \tau) \quad (2.14)$$

Dimana :

$x(t)$ = sinyal input

$x(t - \tau)$ = sinyal input yang telah digeser sejauh (τ)

$\rho_{xx}(\tau)$ = auto-korelasi dimana (τ) menunjukkan nilai rata-rata terhadap waktu

Pemodelan kanal yang seperti pada Gambar 2.11 menunjukkan bahwa sinyal informasi $x(t)$ dilewatkan pada suatu kanal akan memiliki bentuk respons impuls kanal. Pada pengolahan sinyal, respons impuls $h(t)$ yang dimasukkan input $x(t)$ akan menghasilkan *output* berupa $y(t)$. Dimana $h(t)$ adalah konvolusi dari sinyal $x(t)$ dan $y(t)$ yang ditunjukkan dengan Persamaan (2.13) berikut ini:

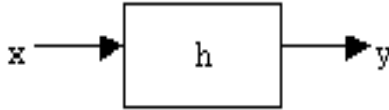
$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (2.15)$$

Dimana :

$y(t)$ = sinyal *output*

$x(t)$ = sinyal *input*

$h(t)$ = respons impuls



Gambar 2.11 Pemodelan sistem kanal HF

Selanjutnya, dalam upaya mencari nilai $h(t)$ dilakukan perhitungan fungsi korelasi silang antara $x(t)$ dan $y(t)$. Sinyal yang diterima atau disebut $y(t)$ merupakan korelasi silang antara $y(t)$ dan $x(t)$ pada rata-rata waktu seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t) \cdot y(t - \tau) \quad (2.16)$$

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t) \cdot x(t - \tau) \cdot h(t - \tau) \quad (2.17)$$

Dimana :

$\rho_{yx}(\tau)$ = fungsi korelasi silang

$x(t - \tau)$ = sinyal input yang telah digeser sejauh (τ)

$h(t - \tau)$ = respons impuls yang telah digeser sejauh (τ)

Dari Persamaan (2.17) menunjukkan bahwa untuk mendapatkan respons impuls kanal dapat dilakukan dengan proses korelasi silang antara sinyal $y(t)$ berupa IQ dan sinyal input $x(t)$, apabila input merupakan fungsi autokorelasi. Fungsi korelasi silang merupakan dua operasi linier sehingga dapat dilakukan tukar posisi dimana autokorelasi sinyal dilakukan terlebih dahulu kemudian dilakukan konvolusi dengan $h(t)$.

Dengan mengatur sinyal input $x(t)$ sedemikian rupa, maka didapatkan $\rho_{xx}(\tau)$, dimana $\rho_{xx}(\tau)$ merupakan hasil autokorelasi sehingga diperoleh respons impuls dari kanal HF melalui persamaan berikut:

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} \rho_{xx}(t) \cdot h(t - \tau) \quad (2.18)$$

Dimana:

$\rho_{xx}(t)$ = fungsi autokorelasi dari $x(t)$

$h(t - \tau)$ = respons impuls yang telah digeser sejauh (τ)

2.7 Product Detector

Salah satu demodulator yang sering digunakan pada sistem modulasi AM maupun SSB yaitu product detector. Dimana proses demodulator ini adalah berfungsi sebagai *frequency mixer*. Berikut

merupakan penjelsan matematis sederhana dari cara kerja demodulator ini:

$$x(t) = (C + m(t))\cos(\omega t) \quad (2.19)$$

$$y(t) = (C + m(t)) \cos(\omega t) \cos(\omega t) \quad (2.20)$$

$$y(t) = (C + m(t)) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(\omega t) \right) \quad (2.21)$$

Dimana :

m(t) = sinyal informasi
x(t) = sinyal AM
y(t) = sinyal AM dikalikan sinyal yang frekuensi dan fasanya sama dengan sinyal AM tersebut

Dari hasil perkalian tersebut akan didapatkan komponen pada sinyal DC, sinyal informasi, maupun komponen pada frekuensi tinggi yang dapat diolah sesuai dengan yang diinginkan.

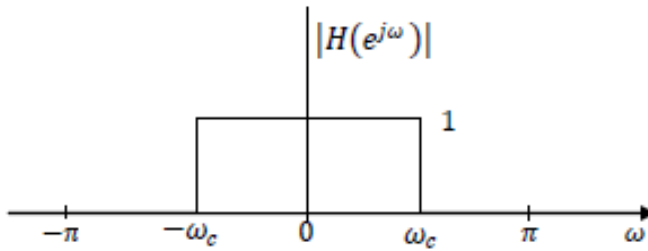
2.8 Low Pass Filter

Filter digital sering disebut sebagai sistem diskrit. Dimana filter dapat diklasifikasikan berdasarkan respons frekuensinya yaitu filter fasa linier, filter *allpass*, dan filter selektif frekuensi. Pada filter selektif frekuensi terdapat beberapa jenis filter diantaranya yaitu LPF (*Low Pass Filter*), HPF (*High Pass Filter*), BPF (*Band Pass Filter*) dan BSF (*Band Stop Filter*). Interval frekuensi pada respons magnituda yang bernilai 1 atau konstan disebut daerah *passband* (pita lolos) sedangkan interval frekuensi pada respons magnituda yang bernilai 0 disebut daerah *stopband*. Frekuensi yang membatasi *passband* dan *stopband* disebut frekuensi *cutoff* [17].

LPF mempunyai respons magnituda seperti pada Gambar 2.12 dan selalu periodik dengan periode 2π . LPF mempunyai frekuensi *cutoff* ω_c dan secara matematik dapat ditulis sebagai berikut:

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 & |\omega| \leq \omega_c \\ 0 & \omega_c < |\omega| \leq \pi \end{cases} \quad (2.22)$$

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega = \frac{\sin \omega_c n}{\pi n} \quad (2.23)$$



Gambar 2.12 Filter LPF ideal

2.9 Desain Filter Digital FIR

Implementasi filter FIR (*Finite Impulse Response*) didesain dengan melakukan pendekatan ke filter digital. Dimana metode yang sering digunakan yaitu metode windowing. Untuk mendapatkan filter FIR, maka perlu membatasi panjang deretan respons filter IIR. Jika $h_d(n)$ merepresentasikan respons impuls filter digital IIR yang diinginkan, maka filter FIR dengan respons impuls $h(n)$ dapat diperoleh sebagai berikut [17]:

$$h(n) = \begin{cases} h_d(n), & N_1 \leq n \leq N_2 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.24)$$

Secara umum $h(n)$ dapat dibentuk dengan mengalikan $h_d(n)$ dengan fungsi window $w(n)$ sebagai berikut:

$$h(n) = h_d(n) \cdot w(n) \quad (2.25)$$

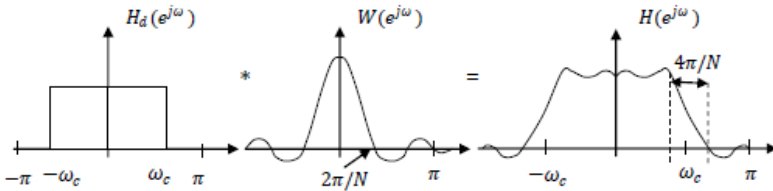
Respons impuls $h(n)$ pada Persamaan (2.24) dapat dibentuk dari Persamaan (2.25) bila menggunakan fungsi window persegi (*rectangular*) yaitu:

$$w(n) = \begin{cases} 1, & N_1 \leq n \leq N_2 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.26)$$

Jika dinyatakan $H(e^{j\omega})$, $H_d(e^{j\omega})$ dan $W(e^{j\omega})$ sebagai transformasi Fourier dari $h(n)$, $h_d(n)$ dan $w(n)$, maka respons frekuensi $H(e^{j\omega})$ dari filter hasil desain merupakan konvolusi antara $H_d(e^{j\omega})$ dan $W(e^{j\omega})$ sebagai berikut:

$$H(e^{j\omega}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_d(e^{j\theta}) \cdot W(e^{j(\omega-\theta)}) d\theta = H_d(e^{j\omega}) * W(e^{j\omega}) \quad (2.27)$$

Sebagai ilustrasi, jika $H_d(e^{j\omega})$ merepresentasikan filter LPF ideal dengan frekuensi *cutoff* ω_c dan $w(n)$ merupakan window persegi pada titik asal, maka $H(e^{j\omega})$ seperti terlihat pada Gambar 2.13 menunjukkan bahwa respons frekuensi hasil desain $H(e^{j\omega})$ menyerupai respons frekuensi yang diinginkan $H_d(e^{j\omega})$.



Gambar 2.13 Respons Frekuensi hasil perkalian respons impuls $h_d(n)$ ideal dengan window persegi

Beberapa fungsi window yang sering digunakan secara umum yaitu window persegi, Barlett, Hanning, Hamming, dan Blackman. Secara matematis fungsi window dengan panjang deretan N adalah:

1. Window persegi (*rectangular*)

$$w_R(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.28)$$

2. Window Barlett

$$w_B(n) = \begin{cases} \frac{2n}{N-1}, & 0 \leq n \leq (N-1)/2 \\ 2 - \frac{2n}{N-1}, & \frac{N-1}{2} \leq n \leq N-1 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.29)$$

3. Window Hanning

$$w_{Han}(n) = \begin{cases} 0.5 \left\{ 1 - \cos\left[\frac{2\pi n}{N-1}\right] \right\}, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.30)$$

4. Window Hamming

$$w_{Ham}(n) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos \left[\frac{2\pi n}{N-1} \right], & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.31)$$

5. Window Blackman

$$w_{Bl}(n) = \begin{cases} 0.42 - 0.5 \cos \left[\frac{2\pi n}{N-1} \right] + 0.08 \cos \left[\frac{4\pi n}{N-1} \right], & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.32)$$

2.9.1 Prosedur Desain Filter Digital FIR

Filter LPF ideal yang mempunyai fasa linier dengan slope $-\alpha$ dan frekuensi *cutoff* ω_c dapat dinyatakan dalam domain frekuensi [18]:

$$H_d(e^{j\omega}) = \begin{cases} e^{-j\alpha\omega}, & |\omega| \leq \omega_c \\ 0, & \omega_c < |\omega| < \pi \end{cases} \quad (2.33)$$

Respons impuls filter ideal $h_d(n)$ dapat diperoleh dengan mentransformasi Fourier balik $H_d(e^{j\omega})$ menjadi:

$$h_d(n) = \frac{\sin[\omega_c(n-\alpha)]}{\pi(n-\alpha)} \quad (2.34)$$

Filter FIR kausal dengan respons impuls $h(n)$ dapat diperoleh dengan cara mengalikan $h_d(n)$ dengan sebuah fungsi window pada titik asal dan diakhiri pada titik $N-1$ sebagai berikut:

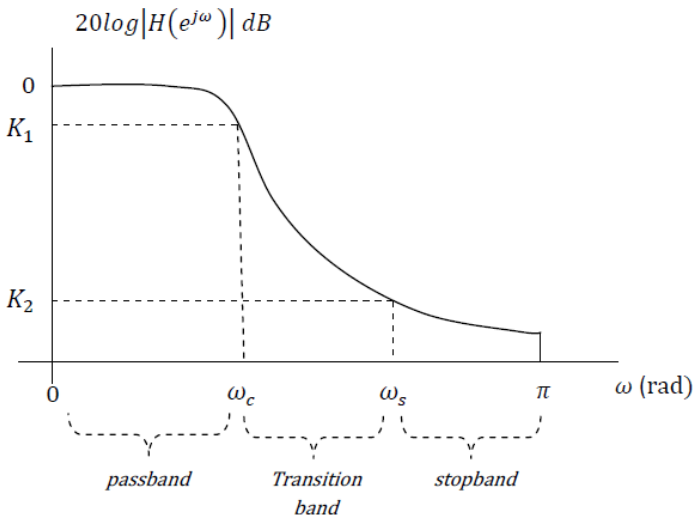
$$h(n) = \begin{cases} \frac{\sin[\omega_c(n-\alpha)]}{\pi(n-\alpha)} \cdot w(n), & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.35)$$

Respons impuls $h(n)$ mempunyai fasa linier bila α dipilih agar menghasilkan $h(n)$ yang simetris. Fungsi $\sin[\omega_c n - \alpha]/\pi(n - \alpha)$ pada Persamaan (2.32) simetris pada $n = \alpha$ dan fungsi window simetris pada $n = (N-1)/2$, sehingga filter $h(n)$ pada Persamaan (2.33) mempunyai fasa linier jika simetris dan

$$\alpha = \frac{N-1}{2} \quad (2.36)$$

2.9.2 Tahapan Desain Filter Digital FIR

Sebelum masuk ke tahapan perancangan filter digital, terlebih dahulu perlu untuk menentukan spesifikasi redaman *passband* maksimal K_1 pada frekuensi *cutoff* ω_c , redaman *stopband* minimal K_2 pada frekuensi ω_s seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Spesifikasi Filter Digital LPF

Langkah-langkah desain filter FIR secara iteratif sebagai berikut:

1. Memilih tipe window berdasarkan Tabel 2.3 agar redaman *stopband* minimal sama dengan K_2 .

Tabel 2.3 Lebar pita transisi berdasarkan jenis window [18]

Jenis Window	Lebar transisi	Redaman <i>stopband</i> minimal (dB)	Konstanta (k)
Persegi	$4\pi/N$	21	2
Barlet	$8\pi/N$	25	4
Hanning	$8\pi/N$	44	4
Hamming	$8\pi/N$	53	4
Blackman	$12\pi/N$	74	6

- Menentukan panjang deretan window N (orde filter) agar memenuhi lebar band transisi dengan tipe window yang digunakan. Jika ω_t merupakan lebar band transisi, maka harus dipenuhi kondisi:

$$\omega_t = \omega_s - \omega_c \geq k \cdot \frac{2\pi}{N} \quad (2.37)$$

Dimana k bergantung dengan tipe window yang akan digunakan, sehingga:

$$N \geq k \cdot \frac{2\pi}{\omega_t} \quad (2.38)$$

- Memilih frekuensi *cutoff* ω_c dan kemiringan fasa α yaitu:

$$\alpha = (N - 1)/2 \quad (2.39)$$

Sehingga respons impulsnya menjadi:

$$h(n) = \frac{\sin\left[\omega_c \left(n - \frac{N-1}{2}\right)\right]}{\pi \left[n - \frac{N-1}{2}\right]} \cdot w(n) \quad 0 \leq n \leq N - 1 \quad (2.40)$$

- Menggambarakan respons frekuensi $H(e^{j\omega})$, untuk N ganjil mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$H e^{j\omega} = e^{-j\omega(N-1)/2} \cdot \left\{ h\left(\frac{N-1}{2}\right) + \sum_{n=0}^{(N-3)/2} 2h(n) \cos[\omega] \left(n - \frac{N-1}{2}\right) \right\} \quad (2.41)$$

Dimana :

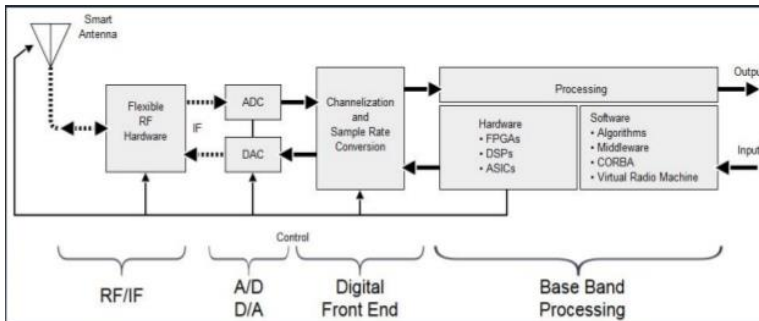
$$\begin{aligned} \text{Fasa linier} & : e^{-\frac{j\omega(N-1)}{2}} \\ \text{Magnitude} & : \left\{ h\left(\frac{N-1}{2}\right) + \sum_{n=0}^{(N-3)/2} 2h(n) \cos[\omega] \left(n - \frac{N-1}{2}\right) \right\} \end{aligned}$$

2.10 Software Define Radio

Perangkat SDR (*Software Defined Radio*) merupakan perangkat sistem komunikasi radio yang dapat diatur secara pemrograman menggunakan *software*. Beberapa fungsi modul dalam sistem komunikasi menggunakan radio seperti pembangkitan sinyal, modulasi, *encoding* beberapa protokol yang dapat diterapkan menggunakan perangkat lunak yang terintegrasi terdapat pada SDR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. Dalam sistem ini sinyal diproses melalui perangkat lunak yang menggunakan FPGA (*Field Programmable Gate Array*), *General Purpose Processor* dan lain-lain [19].

Adapun beberapa keunggulan dari SDR antar lain yaitu:

- Memiliki sifat fleksibel (*flexibility*)
- Dapat dikonfigursi dengan mudah (*easy configuration*)
- Dapat diprogram ulang (*reprogrammability*)
- Memiliki skala (*scalability*)



Gambar 2.15 Arsitektur SDR [20]

Salah satu contoh SDR yang biasa digunakan dalam bentuk penelitian adalah perangkat USRP (*Universal Software Radio Peripheral*). USRP merupakan suatu prototipe perangkat radio yang diproduksi oleh NI (*National Instrument*) yang memiliki beberapa jenis dengan fungsi yang berbeda-beda. USRP terdiri dari *motherboard* dan *daughterboard*. Penentuan penggunaan dari jenis *daughterboard*, dapat disesuaikan dengan frekuensi kerja yang akan diinginkan.

Pada tugas akhir ini menggunakan jenis *daughterboard* yaitu LFTX pada sisi pemancar dan LFRX pada sisi penerima. *Daughterboard* ini bekerja pada frekuensi DC-30 MHz yang sesuai dengan frekuensi kerja radio HF (*High Frequency*).

2.11 Akuisisi Data

Sistem akuisisi data atau yang dikenal dengan sebutan DAS (*Data-Acquisition System*) merupakan sistem instrumentasi elektronik yang terdiri dari sejumlah elemen yang secara bersama-sama bertujuan untuk mengukur, menyimpan, serta untuk mengolah hasil dari pengukuran [21]. DAS merupakan *interface* antara sinyal analog dengan sinyal digital. DAS dan proses DAC (*Digital to Analog Converter*) terdapat pada perangkat USRP.

Proses dan kendali akuisisi data ini dibantu menggunakan perangkat lunak LabView Communications. LabView Communications merupakan bahasa pemrograman yang memiliki fleksibilitas seperti bahasa pemrograman yang lain yaitu C++, Fortran, atau Basic. LabView Communications diproduksi oleh NI (*National Instrument*).

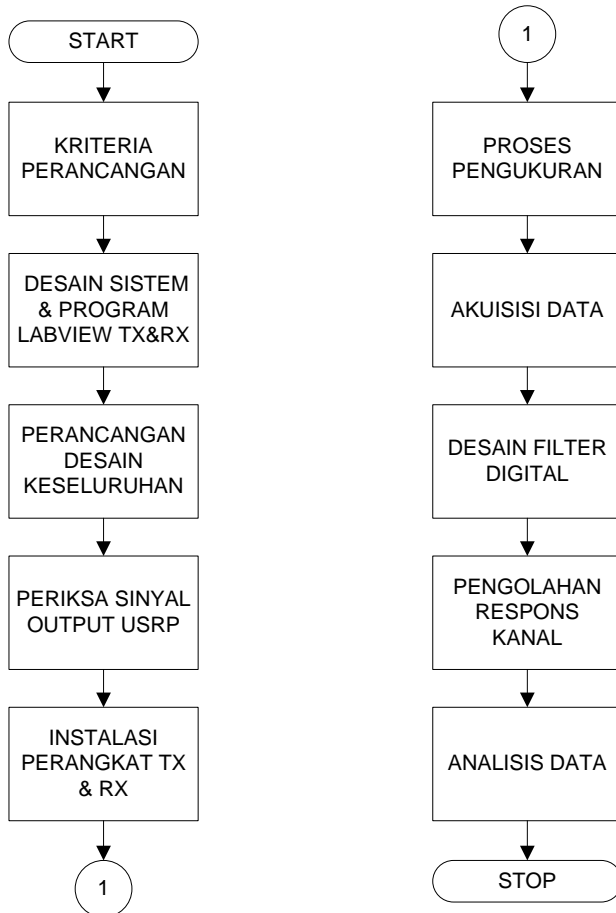
Dalam pemrograman menggunakan LabView Communications terdapat VI (*Virtual Instrument*) yang berisikan program yang berbasis grafis atau blok diagram, yang mana tampilan dan operasinya dapat meniru sebuah *instrument* tertentu. VI ini terdiri dari *Panel* dan *Diagram*. *Panel* berisikan tampilan GUI (*Graphical User Interface*) yang memudahkan pengguna dalam mengisi parameter-parameter atau inputan dalam pemrograman. Sedangkan *Diagram* berisikan *terminals*, *subVIs*, *functions*, *constants*, *structures*, dan *wires*, yang dapat melakukan proses transfer pengolahan data dari diagram satu ke diagram lainnya.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem

Secara umum blok diagram sistem yang dirancang dalam tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan sistem

3.2 Kriteria Perancangan

Pada penelitian desain sistem pengukuran kanal HF MIMO NVIS ini memiliki kriteria yang berbeda dengan pengukuran sistem kanal HF jarak jauh. Salah satu contohnya ialah penggunaan frekuensi kerja yang jauh lebih kecil yaitu frekuensi 3-10 MHz pada teknik NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*).

Implementasi teknik NVIS dapat melingkupi suatu daerah dengan jarak komunikasi sebesar 0-300 km [11]. Adapun frekuensi kerja yang digunakan pada desain sistem perancangan ini ialah pada frekuensi 7 MHz yang telah sesuai dengan peraturan penyelenggaraan radio amatir yang berlaku di Indonesia. Penyelenggaraan siaran radio amatir pada penelitian ini juga sudah memiliki IAR (Izin Amatir Radio) pada Tingkatan Siaga, dengan besar daya pancar maksimal yang diperbolehkan yaitu 100 Watt pada pita frekuensi kurang dari 30 MHz.

Antena yang digunakan pada penelitian ini adalah antena horizontal dipol $\lambda/2$ yang dirancang bekerja pada frekuensi 7 MHz. Antena tersebut terlebih dahulu dirakit dan dipasang menggunakan balun (*balance to unbalance*) sebagai *matching impedance*, sehingga menghasilkan VSWR ≤ 2 [10]. Antena tersebut dipasang horizontal pada jarak pengukuran 72,9 km (LOS) untuk *link* Surabaya–Malang agar dapat menghasilkan sudut elevasi antara 60^0 - 90^0 . Lalu dirancang pembangkitan sinyal informasi yaitu sinyal DC pada pemancar 1 maupun pada pemancar 2 menggunakan program LabView Communications dan perangkat USRP (*Universal Software Define Radio*). Antena pemancar 1 bekerja pada frekuensi 7,0225 MHz sedangkan pemancar 2 pada frekuensi 7,0825 MHz.

Sinyal pada subsistem penerima akan diterima dalam bentuk sinyal *bandpass* oleh antena. Kemudian sinyal tersebut akan dikuatkan oleh LNA (*Low Noise Amplifier*) dan masuk ke dalam perangkat USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) di penerima 1 maupun penerima 2. Sehingga sinyal yang diterima sudah berupa sinyal *In-phase* dan *Quadrature*. Untuk dapat menghasilkan bentuk respons kanal perlu dilakukan proses akuisisi data. Subsistem ini sudah termasuk dalam program LabView Communications disisi penerima yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan, dan melakukan pemrosesan sesuai dengan kehendak user. Pada penelitian ini hasil data akan diakuisisi kemudian disimpan dan diolah menggunakan *software* Matlab.

3.2.1 Pemilihan Frekuensi Kerja

Metode NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*) menggunakan pita frekuensi kerja yaitu 3-10 MHz [11]. Pita frekuensi tersebut tidak dapat digunakan sepenuhnya karena telah diduduki oleh sistem komunikasi penerbangan dan lain-lain. Sehingga penggunaan frekuensi HF untuk teknik NVIS ini perlu mempertimbangkan regulasi terkait.

Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia menjelaskan bahwa frekuensi yang boleh digunakan untuk siaran radio amatir yaitu pada pita frekuensi 7,0-7,2 MHz [22]. Adapun peraturan yang terkait dalam penyelenggaraan radio amatir lainnya telah diatur oleh organisasi seperti ORARI (Organisasi Amatir Radio Indonesia) maupun IARU (*International Amateur Radio Union*) yaitu organisasi radio amatir internasional.

Pihak yang ingin menyelenggarakan radio amatir terlebih dahulu harus mengikuti ujian untuk mendapatkan kartu IAR (Izin Amatir Radio). Pemilik kartu IAR adalah termasuk anggota ORARI (Organisasi Amatir Radio Indonesia) yang memiliki kode siaran atau *callsign*. Format IAR memiliki 4 jenis tingkatan yaitu Tingkat Pemula, Tingkat Siaga, Tingkat Penggalang dan Tingkat Penegak. Dimana format tingkatan tersebut juga mengatur daya pancar maksimum sesuai dengan tingkatannya.

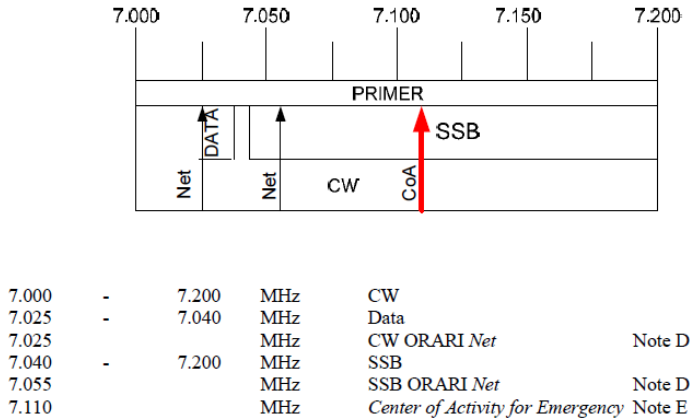
Tabel 3.1 Alokasi spektrum frekuensi menurut IARU [23]

Allocation to services		
Region 1	Region 2	Region 3
7 000-7 100	AMATEUR AMATEUR-SATELLITE 5.140 5.141 5.141A	
7 100-7 200	AMATEUR 5.141A 5.141B	
7 200-7 300 BROADCASTING	7 200-7 300 AMATEUR 5.142	7 200-7 300 BROADCASTING

Tabel 3.1 merupakan keputusan alokasi penggunaan spektrum frekuensi yang diatur oleh IARU (*International Amateur Radio Union*), menjelaskan bahwa *Region 3* yaitu negara Asia Pasifik termasuk Indonesia menggunakan pita frekuensi 7,0-7,2 MHz untuk siaran radio amatir. Begitu juga pada Keputusan Ketua Umum Organisasi Amatir Radio Indonesia Nomor: KEP-065/OP/KU/2009 menyatakan bahwa besar *bandwidth* maksimal yang diperbolehkan dalam sistem komunikasi

data pada kanal HF yaitu sebesar 15 KHz yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

40 Meter



Band ini untuk tingkat Siaga, Penggalang dan Penegak

Gambar 3.2 Alokasi penggunaan siaran pada panjang gelombang 40 meter

3.2.2 Penentuan Besar Daya Pancar

Besar daya pancar maksimum dalam siaran radio amatir pada pita frekuensi radio dibawah 30 MHz [22] dijelaskan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Daya pancar maksimum setiap tingkatan

Tingkatan	Daya Pancar Maximum(Watt)
Pemula	50
Siaga	100
Penggalang	500
Penegak	1000

3.2.3 Penentuan SNR Minimum

Penelitian ini menetapkan batas minimal parameter SNR (*Signal to Noise Ratio*) dalam sistem komunikasi ini adalah sebesar 10 dB [24].

3.2.4 Penentuan Waktu Pengukuran

Pemodelan kanal HF MIMO NVIS ini dipengaruhi oleh kerapatan elektron, sehingga perubahan waktu dari pagi hari siang hari, sore hari akan mempengaruhi hasil pengukuran. Pada pagi hari lapisan F terbagi menjadi 2 bagian yaitu lapisan F1 dan F2 dengan ketinggian yang berbeda. Pada pengukuran ini mengambil sampel data baik pada waktu pagi hari, siang hari maupun sore hari. Sinyal pada frekuensi 7 MHz bekerja sangat baik pada saat siang hari dimana saat matahari meradiasi sinarnya pada lapisan ionosfer. Kerapatan elektron pada siang hari akan menyebabkan pantulan sinyal semakin baik pula.

Pada penelitian ini perencanaan waktu pengukurannya adalah sebagai berikut:

- Pengambilan data pengukuran sebanyak 16000 *sample/s*.
- Waktu pengukuran dilaksanakan pada waktu pagi, siang dan sore hari.
- Durasi waktu pemancar yaitu 10 menit untuk menghindari perangkat amplifier mengalami *overheat*.

3.2.5 Pemilihan Lokasi Pemancar dan Penerima



Gambar 3.3 Link Surabaya–Malang

Penelitian kali ini diimplementasikan pada *link* Surabaya–Malang. Dimana kota Surabaya dijadikan sebagai *transmitter* yang lokasinya berada di Gedung Departemen Teknik Elektro ITS. Sedangkan, kota Malang dijadikan sebagai *receiver* yang lokasinya berada di PPPPTK Gedung Sistem Informasi, VEDC dengan informasi lokasi yang tertera pada Tabel 3.3. Pemilihan kota Malang sebagai stasiun penerima atau *receiver* sudah memenuhi syarat implementasi sistem radio HF NVIS. Dimana jarak LOS (*Line Of Sight*) nya sebesar 72,9 km dengan ketinggian kota Malang yaitu sebesar 476 meter diatas permukaan laut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Sehingga propagasi *groundwave* sudah tidak memungkinkan untuk terjadi pada *link* tersebut.

Tabel 3.3 Infomasi lokasi pemancar maupun penerima

Kota	Latitude	Longitude
Surabaya (TX)	7°17'17,10"S	112°47'34,54"E
Malang (RX)	7°56'4,94"S	112°39'46,33"E

3.3 Perancangan Desain Sistem Pengukuran

Pada sistem perancangan pengukuran ini menggunakan antena jamak dengan skema MIMO 2×2 yaitu terdapat 2 buah antena pada sisi pemancar maupun pada sisi penerima. Dua buah antena pada sisi pemancar menggunakan frekuensi 7,0225 MHz dan 7,0825 MHz. Dengan menggunakan 2 buah frekuensi yang berbeda pada sisi pemancar akan memudahkan penerima untuk mengetahui sinyal informasi yang berada pada frekuensi tersebut.

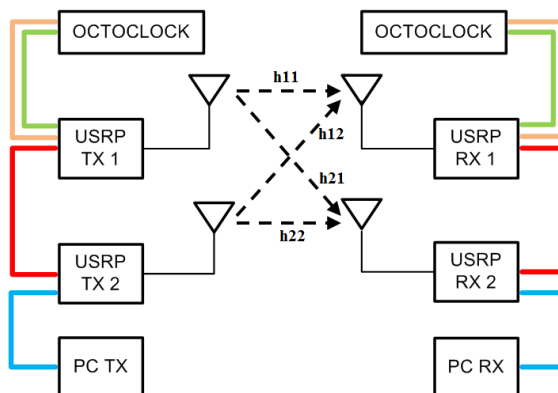
Sinyal yang dikirimkan pada sisi pemancar akan diterima pada sistem penerima. Sinyal tersebut akan diolah menggunakan proses demodulator pada sisi penerima dengan metode *product detector* yang berguna untuk menggeser sinyal informasi ke suatu rentang frekuensi tertentu. Untuk mendapatkan sinyal informasi tersebut maka akan diterapkan suatu filter yaitu LPF (*Low Pass Filter*) dengan metode window Hamming. Diharapkan penggunaan filter dengan metode window Hamming akan memiliki redaman *stopband* minimal yaitu sebesar 53 dB [18].

Selain itu ditetapkan juga besar SNR minimum sistem pengukuran ini sebesar 10 dB [24] dengan besar daya pancar 20 Watt pada pemancar 1 maupun pemancar 2 untuk *link* Surabaya–Malang. Parameter tersebut akan menghasilkan *Dynamic Range* sebesar 24,23 dB seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi sistem pengukuran kanal HF MIMO NVIS

Parameter	Nilai
Sinyal Informasi	Sinyal DC
Sinyal Carrier	TX1 = 7,0225 MHz TX2 = 7,0825 MHz
Daya Pancar	20 Watt
SNR minimum	10 dB
Dynamic Range	24,23 dB

Proses pengukuran pada penelitian ini menggunakan perangkat SDR (*Software Define Radio*) yaitu USRP tipe N210. Dimana sinkronisasi perangkat pada desain sistem pengukuran ini didapat dengan menggunakan perangkat octoclock yang dipasang baik pada sisi pemancar maupun penerima seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



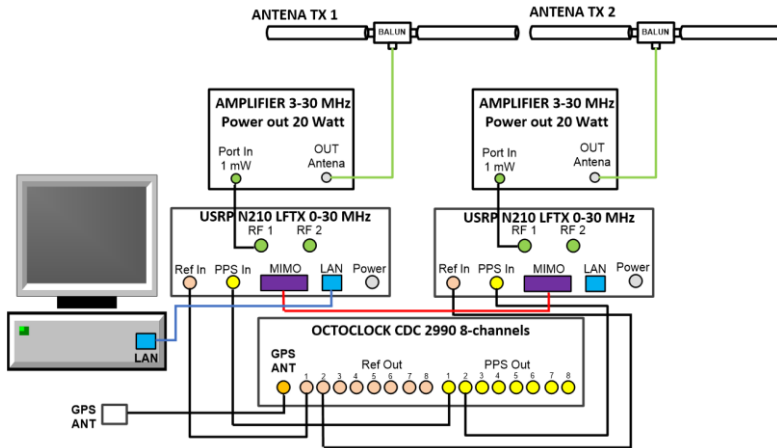
Gambar 3.4 Perancangan pengukuran kanal HF MIMO 2×2 NVIS berbasis USRP

Keterangan:

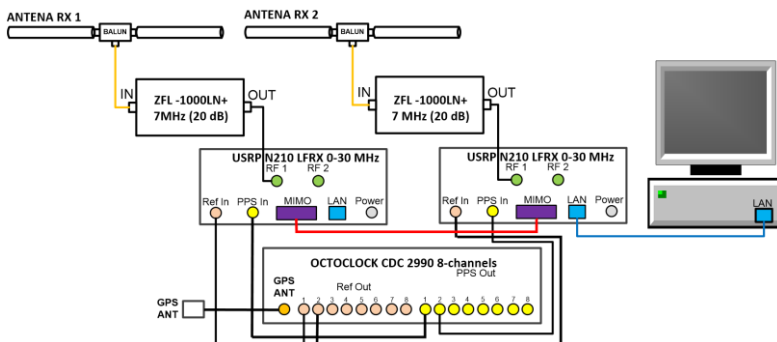
- Kabel MIMO
- Kabel Ethernet
- PPS In
- Ref In

3.4 Desain Sistem Keseluruhan

Pada penelitian ini menggunakan desain sistem pengukuran berbasis SDR (*Software Defined Radio*) yaitu perangkat USRP (*Universal Software Define Radio*) tipe N210. Pengukuran ini berguna untuk mengukur kanal HF NVIS dengan skema MIMO 2x2 pada *link* Surabaya–Malang dengan jarak LOS (*Line Of Sight*) sebesar 72,9 km.



Gambar 3.5 Desain sistem keseluruhan pada pemancar



Gambar 3.6 Desain sistem keseluruhan pada penerima

Keterangan:

- Kabel SMA
- Kabel RG 8
- Kabel RG 58
- Kabel Ethernet
- Kabel MIMO

Seluruh perangkat terkait dalam proses pengukuran ini ditunjukkan pada Gambar 3.5 untuk desain pemancar dan Gambar 3.6 untuk desain pada sisi penerima.

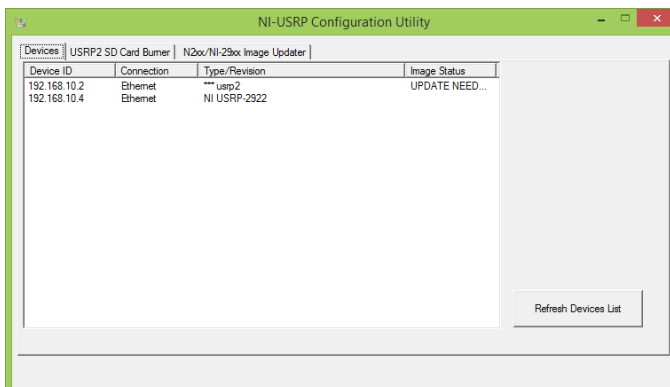
Pada sisi pemancar akan dibangkitkan sinyal DC (*Direct Current*) yang terdiri dari sinyal *In-phase* dan *Quadrature* pada pemancar 1 maupun pemancar 2. Perangkat USRP tipe N210 akan menghasilkan daya sebesar 1mWatt atau 0 dBm. Daya tersebut terlalu kecil dan tidak mampu untuk ditransmisikan pada *link* Surabaya—Malang dengan panjang lintasan garis lurus atau LOS sebesar 72,9 km. Sehingga diperlukan suatu perangkat amplifier HF yang dapat menghasilkan daya *output* sesuai dengan kebutuhan *link* tersebut. Besar daya pancar yang dibutuhkan pada *link* Surabaya—Malang tersebut dapat dihitung menggunakan perhitungan *link budget*.

Desain sistem pengukuran ini menggunakan antena jamak pada pemancar dan penerima dengan skema MIMO 2×2. Dimana terdapat 2 buah antena pada sisi pemancar maupun 2 buah antena pada sisi penerima. Proses sinkronisasi perangkat pada pengukuran ini menggunakan perangkat octoclock baik pada sisi pemancar maupun pada sisi penerima.

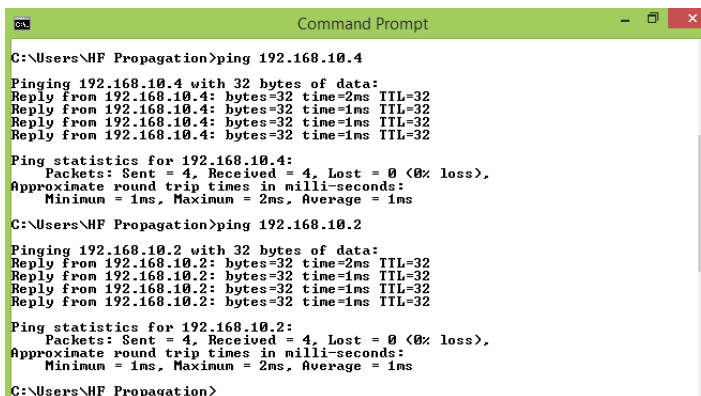
Sinyal yang ditransmisikan pada antena pemancar 1 maupun pemancar 2 diharapkan dapat berpropagasi pada lapisan F ionosfer dengan ketinggian virtual sebesar 300 km. Sinyal terima pada antena penerima 1 maupun penerima 2 akan dikuatkan menggunakan perangkat LNA kemudian diteruskan ke perangkat USRP. Perangkat USRP pada penerima akan mengolah sinyal tersebut ke dalam bentuk *IQ Data* pada penerima 1 atau *channel 1* dan pada penerima 2 atau *channel 2*. *IQ Data* inilah yang akan diolah lebih lanjut untuk mendapatkan bentuk 4 buah respons kanal yaitu h_{11} , h_{12} , h_{21} dan h_{22} .

3.5 Proses Konektivitas Perangkat SDR

Proses konektivitas pada perangkat SDR berupa USRP dengan PC user menggunakan *port* LAN yang dihubungkan dengan *Gigabit Ethernet cable*. Perangkat USRP dan PC user harus menggunakan *IP Address* dengan subnet yang sama, baru kemudian perangkat USRP dapat dideteksi menggunakan *software* NI-USRP Configuration Utility yang diinstal pada PC user. Pada Gambar 3.7 terdapat 2 buah perangkat USRP yang terdeteksi pada *software* disisi user yaitu USRP dengan IP 192.168.10.2 dan USRP dengan IP 192.168.10.4 dengan uji konektivitas perangkat menggunakan PING yang ditampilkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Deteksi perangkat USRP pada PC user

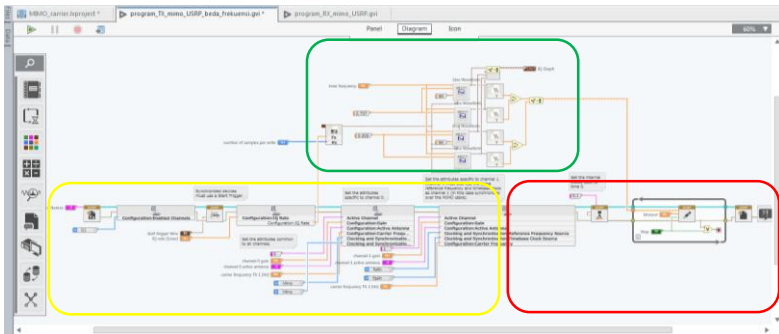


Gambar 3.8 Uji konektivitas perangkat USRP ke PC user

3.6 Desain Program Pemancar

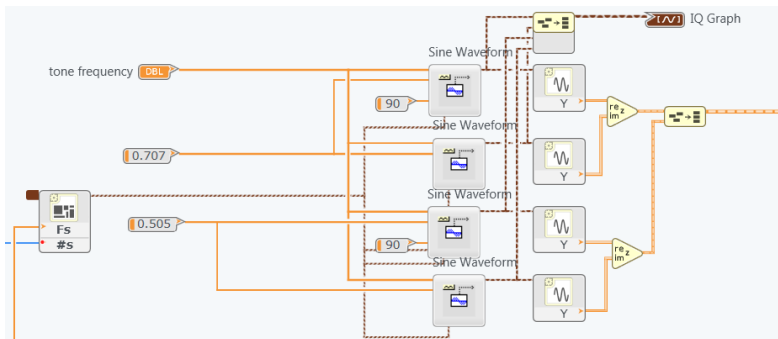
Software LabView Communications terdiri dari 2 buah tampilan utama yaitu diagram blok *simulink* dan *Front Panel*. Diagram blok berfungsi sebagai *interface* user dalam mendesain suatu program dari kumpulan blok atau VI (*Virtual Interface*). Sedangkan *Front Panel* berfungsi untuk menginputkan data-data konfigurasi yang diinginkan.

Pada desain *software* LabView Communications untuk sisi pemancar terdapat konfigurasi pembangkitan sinyal sinusoidal yang ditandai pada Gambar 3.9 menggunakan lingkaran hijau. Begitu pula dengan konfigurasi perangkat USRP seperti menentukan besar frekuensi *carrier*, besar *IQ Rate*, penggunaan konfigurasi MIMO dan perangkat octoclock yaitu PPSIn dan RefIn yang diatur pada lingkaran berwarna kuning. Sedangkan lingkaran merah berfungsi dalam mengatur waktu program untuk berhenti ketika ada suatu kesalahan atau error pada penyambungan VI maupun kesalahan instalasi.



Gambar 3.9 Blok diagram program TX secara keseluruhan

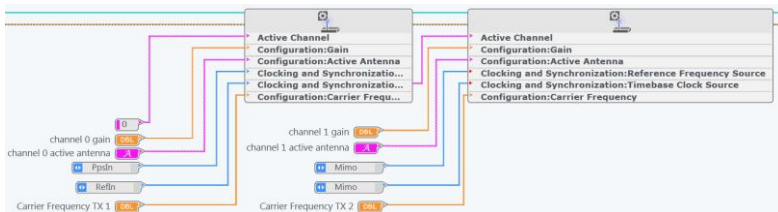
Pembangkitan sinyal sinusoidal pada pengukuran ini menggunakan sinyal *tone* pada frekuensi sebesar 0 Hz. Sinyal tersebut berupa sinyal DC (*Direct Current*) yang dibangkitkan menggunakan sub-VI (*Virtual Instrument*) pada LabView Communications seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10. Pemilihan sinyal informasi berupa sinyal DC ini akan memudahkan proses demodulasi pada sisi penerima. Sinyal DC yang dibangkitkan pada pemancar 1 maupun pemancar 2 terdiri dari sinyal *In-phase* dan sinyal *Quadrature* yang dimana sinyalnya berbeda *phase* sebesar 90^0 .



Gambar 3.10 Blok diagram pembangkitan sinyal sinusoidal



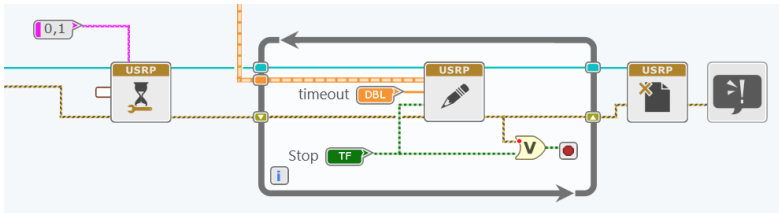
Gambar 3.11 Blok diagram pengaturan perangkat USRP TX



Gambar 3.12 Blok diagram pengaturan frekuensi *carrier* dan perangkat sinkronisasi pada USRP TX

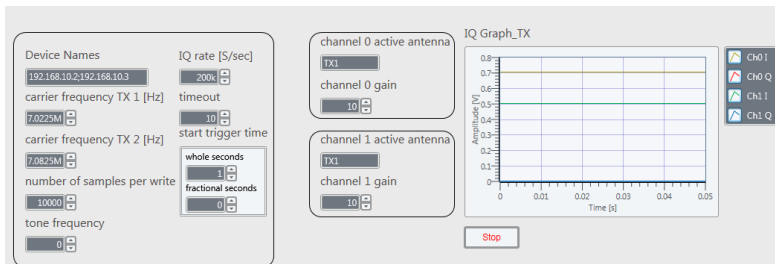
Pembangkitan sinyal pada sisi pemancar pada perangkat USRP perlu menginputkan parameter seperti besar *IQ Rate* (*Sampling/secon*) minimal yang akan digunakan, *channel RF* pada perangkat *daughterboard* yang akan digunakan pada pemancar 1 maupun pemancar 2, serta waktu yang digunakan untuk melakukan *start trigger* yang ditunjukkan pada kumpulan VI (*Virtual Instrument*) di Gambar 3.11.

Pengaturan frekuensi *carrier* dan penggunaan perangkat sinkronisasi yaitu perangkat octoclock dan kabel MIMO untuk konfigurasi USRP dengan skema MIMO 2x2 diatur menggunakan kumpulan VI seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.13 Blok diagram pengaturan waktu error pada perangkat USRP TX

Perangkat USRP pada penelitian ini perlu diinisialisasikan waktu error yang akan digunakan. Waktu error tersebut berguna agar user mengetahui bahwa pada perangkat USRP yang sedang terjadi kesalahan proses instalasi maupun proses *wiring* yang salah ketika menyambungkan beberapa kumpulan VI (*Virtual Instrument*). Pada Gambar 3.13 menunjukkan bahwa perangkat USRP ini sudah diatur waktu errornya (*timeout*), sehingga jika terjadi kesalahan program akan menghentikan proses kerja pada program dengan sendirinya.



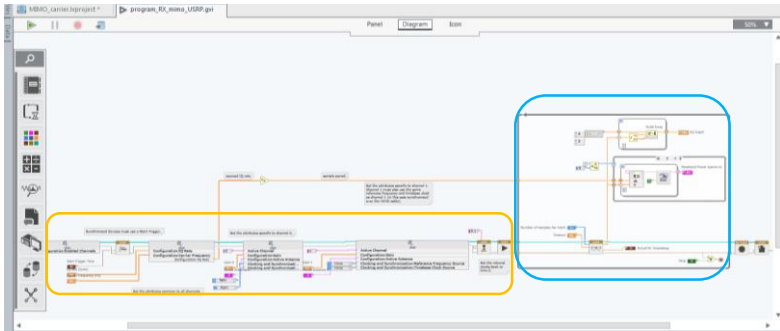
Gambar 3.14 Front Panel bagian TX

Proses akhir pada desain pemrograman pada sisi pemancar ditunjukkan pada Gambar 3.14. Tampilan GUI (*Graphical Unit Interface*) akan mempermudah user dalam proses input data untuk konfigurasi pada sisi pemancar.

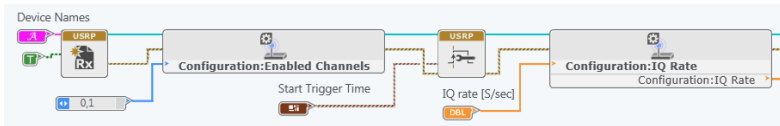
3.7 Desain Program Penerima

Sisi penerima akan berfungsi sebagai penangkap sinyal pada pita frekuensi tertentu. Gambar 3.15 pada lingkaran orange berfungsi dalam mengatur penggunaan frekuensi penerima 1 maupun penerima 2.

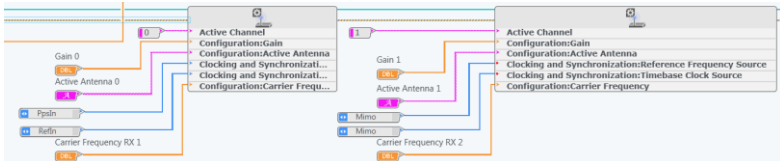
Kemudian juga berfungsi untuk mengatur penggunaan sinkronisasi baik itu penggunaan perangkat octoclock maupun konfigurasi MIMO kabel yaitu port PPSIn dan RefIn. Lingkaran biru berguna dalam mengolah sinyal terima kedalam bentuk *IQ Data* dan menampilkannya dalam bentuk grafik baik itu *time domain* maupun *frequency domain*.



Gambar 3.15 Blok diagram program RX secara keseluruhan

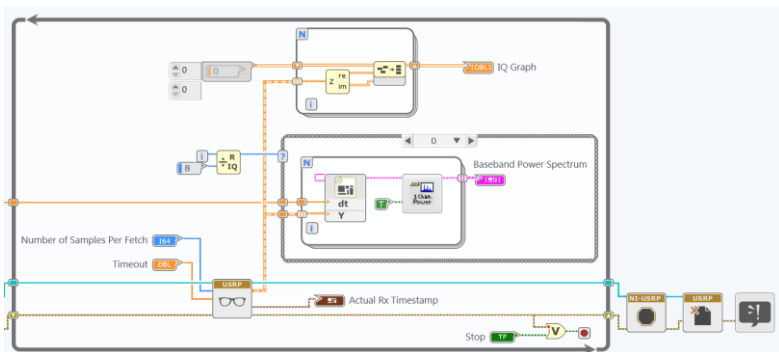


Gambar 3.16 Blok diagram pengaturan perangkat USRP RX

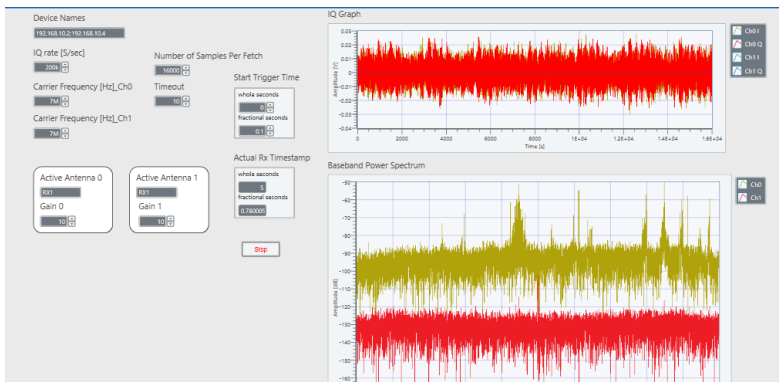


Gambar 3.17 Blok diagram pengaturan frekuensi *carrier* perangkat sinkronisasi pada USRP RX

Pada desain program penerima perlu juga mengatur besar *IQ Rate* yang digunakan pada perangkat USRP seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16. Begitu pula untuk pengatur frekuensi kerja yang digunakan serta perangkat sinkronisasi yang digunakan pada konfigurasi USRP dengan skema MIMO 2×2 pada sisi penerima diatur sesuai pada Gambar 3.17.



Kemudian pengolahan sinyal terima pada penerima 1 (*channel 1*) maupun penerima 2 (*channel 2*) akan diolah kedalam bentuk *IQ Data* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.18. Pengaturan pada blok diagram tersebut mempermudah user dalam melihat visualisasi sinyal terima dan proses akuisisi data.



Tampilan GUI (*Graphical User Interface*) pada *software* LabView Communications sangat memudahkan pengguna dalam proses pengambilan data maupun penyimpanan data. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.19, pengguna dapat mengubah tampilan grafis berupa

warna pada setiap *channel* juga dapat mengatur tampilan *interface* dari *Front Panel* sesuai dengan keinginan user.

3.8 Persiapan Perangkat Keras pada Sistem Pengukuran

Sebelum pengukuran dilaksanakan, perlu dilakukan persiapan ketersediaan perangkat keras yang akan digunakan. Adapun beberapa perangkat tersebut dijelaskan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Daftar perangkat yang digunakan dalam pengukuran

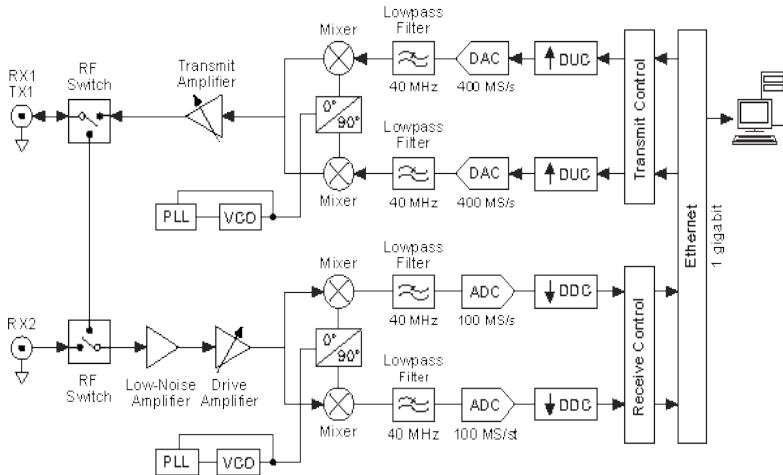
Nama Perangkat	Pemancar	Penerima
USRP	2 buah	2 buah
Daughterboard LFTX	2 buah	-
Daughterboard LFRX	-	2 buah
Antena	2 buah	2 buah
Octoclock	1 buah	1 buah
Kabel MIMO	1 buah	1 buah
Kabel SMA	2 buah	2 buah
GPS	1 buah	1 buah
Amplifier HF 20 Watt	2 buah	-
LNA	-	2 buah
PC	1 buah	1 buah
Gigabit Ethernet	1 buah	1 buah

3.8.1 Penggunaan Perangkat SDR

USRP (*Universal Software Define Radio*) merupakan perangkat SDR yang digunakan dalam penelitian pengukuran kanal HF MIMO NVIS ini. Penelitian ini menggunakan produk NI USRP dengan tipe N210 yang ditunjukkan pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 USRP N210 [27]

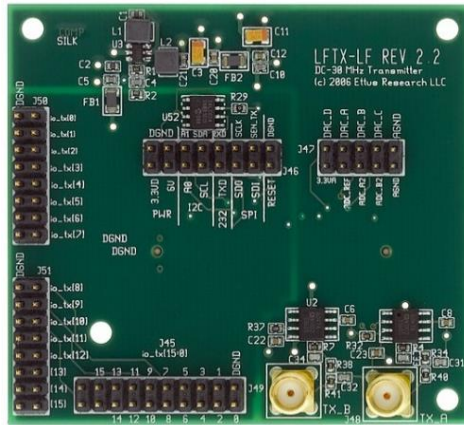


Gambar 3.21 Diagram blok USRP NI 210 [24]

USRP (*Universal Software Define Radio*) dengan tipe N210 menggunakan ADC/DAC (*Analog to Digital Converter/Digital to Analog Converter*), komponen *RF Front End* yang dikenal sebagai *daughterboard* yang bekerja pada rentang frekuensi tertentu, *chip* FPGA (*Field Programmable Gate Array*) yang melakukan proses sebelum pengolahan sinyal input berbasis komputasi, dan juga koneksi antara PC (*Personal Computer*) dengan perangkat USRP menggunakan *Gigabit Ethernet cable*.

Diagram blok pada Gambar 3.21 merupakan bagian *logical* dari USRP. Terlihat bahwa *Port* RX1 dan RX2 tergabung menjadi satu ke bagian *receiver*. Dengan demikian sebuah USRP ini hanya bisa digunakan untuk satu mode *receiver* saja.

Penelitian ini juga menggunakan *daughterboard* berjenis LFTX (*Low Frequency - Transmitter*) pada disisi pemancar dan LFRX (*Low Frequency - Receiver*) disisi penerima seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.22 dan 3.23. *Daughterboard* LFTX dan LFRX ini bekerja pada rentang frekuensi dari 0-30 MHz.



Gambar 3.22 Daughterboard LFTX



Gambar 3.23 Daughterboard LFRX

3.8.2 Perancangan Antena Horizontal Dipol

Penelitian ini menggunakan antena horizontal dipol. Antena tersebut dipasang untuk konfigurasi skema MIMO 2×2 dimana terdapat 2 buah antena pada sisi pemancar maupun sisi penerima. Sehingga total antena yang harus dirancang adalah 4 buah antena.

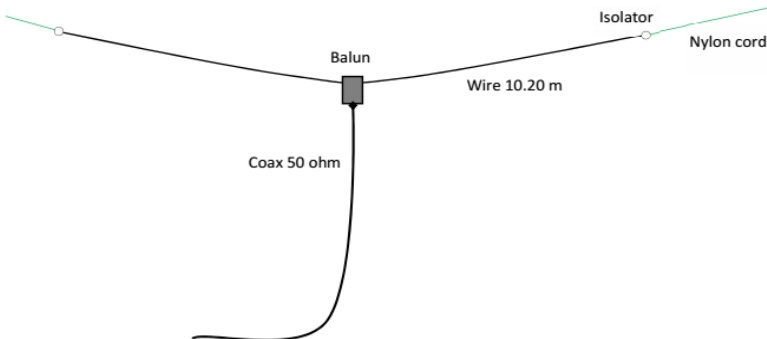
Pembuatan antena ini terlebih dahulu harus menentukan frekuensi kerja yang akan digunakan sesuai dengan desain sistem perancangan yaitu

frekuensi 7 MHz. Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan berapa besar panjang gelombang atau *wavelength* dari frekuensi kerja tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda \text{ (wavelength)} &= c/f = 2.9979 \times 10^8 / f \text{ [Hz]} \quad (\text{m}) \\ \lambda \text{ (wavelength)} &= c/f = 2.9979 \times 10^8 / (7 \times 10^6) \text{ (m)} \\ \lambda \text{ (wavelength)} &= 42,8 \text{ meter}\end{aligned} \quad (3.1)$$

Dalam pembuatan antenna ini, perlu juga mempertimbangkan besar kontribusi panjang dari isolator pada antenna yaitu sebesar 4%. Sehingga, rumus panjang antenanya atau panjang kawatnya yaitu:

$$\begin{aligned}L \text{ [panjang kawat]} &= 0,96 \times \lambda/4 \\ L \text{ [panjang kawat]} &= 0,96 \times (299,79/4)/f \text{ [MHz]}(\text{m}) \\ L \text{ [panjang kawat]} &= 71,95/f \text{ [MHz]} \quad (\text{m}) \\ L \text{ [panjang kawat]} &= 71,95/7 \quad (\text{m}) \\ L \text{ [panjang kawat]} &= 10,20 \text{ meter}\end{aligned} \quad (3.2)$$

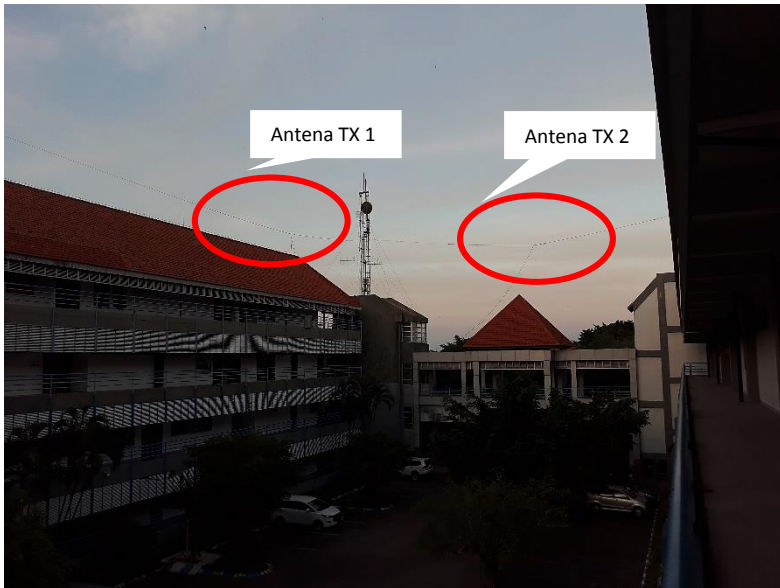


Gambar 3.24 Desain perancangan antenna horizontal dipol pada frekuensi 7 MHz

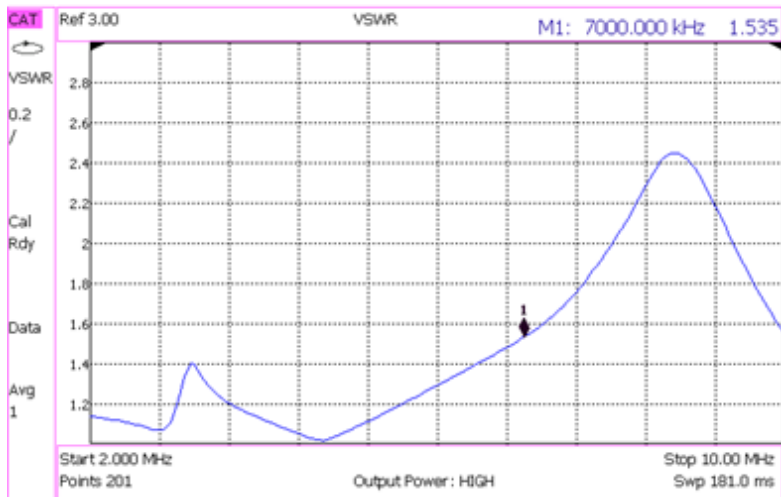
Antena horizontal dipol tersebut dapat dibuat menggunakan beberapa bahan-bahan seperti kabel audio, balun (*balance to unbalance*) dengan tipe BU-50 sebagai *matching impedance* dan 2 buah isolator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.25. Dua buah antenna dipasang pada sisi pemancar di Gedung Elektro ITS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.26.



Gambar 3.25 Bahan perancangan antenna horizontal dipol



Gambar 3.26 Antena horizontal dipol setelah fabrikasi



Gambar 3.27 Hasil pengukuran VSWR antenna perancangan

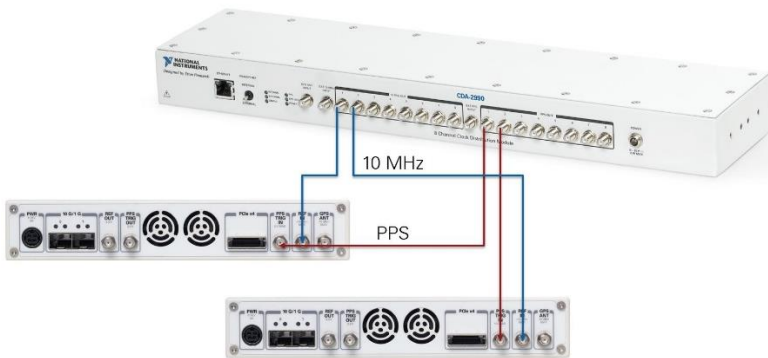
Dari hasil pengukuran antenna menggunakan perangkat VNA (*Vector Network Analyzer*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.27, didapatkan bahwa nilai VSWR pada antenna 1 yaitu sebesar 1,535 pada frekuensi 7,0 MHz. Nilai tersebut sudah memenuhi ketentuan antenna dengan spesifikasi $VSWR < 2$ [10]. Ke 4 buah antenna yang digunakan pada penelitian ini sudah memiliki VSWR yang memenuhi persyaratan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6, sehingga antenna sudah dapat dikatakan bekerja dengan baik.

Tabel 3.6 Hasil pengukuran VSWR 4 buah antenna horizontal dipol

Antena	VSWR pada frekuensi 7 MHz
1	1,535
2	1,702
3	1,689
4	1,401

3.8.3 Penggunaan Perangkat Octoclock

Perangkat yang digunakan sebagai sinkronisasi perangkat pengukuran yaitu USRP pada penelitian ini adalah octoclock. Octoclock pada Gambar 3.28 menyediakan input 10 MHz dan PPS pada panel depan perangkat yang kemudian didistribusikan ke masing-masing 8 buah *port* keluaran 10 MHz dan keluaran SMA PPS.



Gambar 3.28 Octoclock CDA 2990

3.8.4 Penggunaan Kabel MIMO

Konfigurasi MIMO 2×2 pada penelitian ini dapat dicapai dengan menyusun antenna jamak pada sisi pemancar maupun sisi penerima. Dimana sinyal akan dikonfigurasi pada perangkat USRP pemancar 1 kemudian pengaturan parameter pada pemancar 1 akan diatur sama persis dengan USRP pada pemancar 2. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menghubungkan USRP pemancar 1 ke USRP pemancar 2 menggunakan kabel MIMO pada Gambar 3.29. Kabel tersebut memiliki panjang sebesar 0,5 meter.



Gambar 3.29 Kabel MIMO

3.8.5 Penggunaan Antena GPS

GPS (*Global Positioning System*) merupakan sistem navigasi berbasis satelit yang dikembangkan oleh Departemen Pertahanan Amerika yang didukung oleh 27 jaringan satelit. GPS pada Gambar 3.30 ini dipasang pada *port* GPS Ant pada perangkat Octoclock disisi pemancar maupun sisi penerima. Perangkat ini berfungsi untuk mendapatkan sinkronisasi berupa waktu yang sama untuk proses pengukuran.



Gambar 3.30 GPS Antena

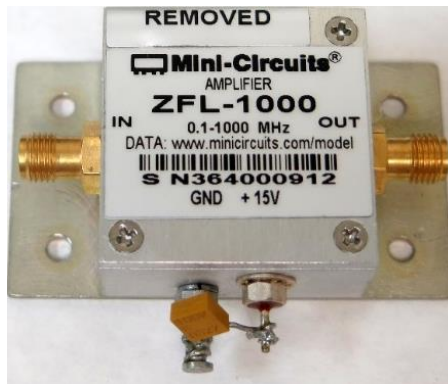
3.8.6 Penggunaan Perangkat Amplifier HF

Sistem pengukuran ini memanfaatkan SDR yaitu USRP sebagai perangkat radio dalam pembangkitan sinyal disisi pemancar. Dimana daya *output* sinyal pada sisi pemancar hanya menghasilkan daya sebesar 1 mW atau -30 dBm. Daya tersebut tidak mampu digunakan untuk mentransmisikan sinyal informasi pada jarak jauh. Maka dari itu diperlukan suatu perangkat yang dapat menguatkan sinyal dari USRP yaitu perangkat amplifier. Amplifier yang digunakan pada penelitian ini bekerja pada frekuensi 3-30 MHz. Dimana daya *output* maksimum yang menggunakan tegangan input V_{DC} sebesar 12 Volt akan menghasilkan daya sebesar ± 20 Watt.

3.8.7 Penggunaan Perangkat Low Noise Amplifier

LNA (*Low Noise Amplifier*) merupakan perangkat yang berfungsi untuk menguatkan sinyal sebelum menuju *High Amplifier* disisi pemancar maupun sesudah antena penerima disisi penerima. Pemasangan perangkat ini diusahakan berada tepat setelah antena penerima. Hal tersebut dilakukan agar sinyal yang dikuatkan memiliki sinyal *noise* yang cukup rendah karena sifat LNA tersebut.

Pengukuran kanal HF MIMO NVIS ini menggunakan perangkat LNA dengan tipe ZFL-1000 dari Pabrik Mini-Circuit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.31. Perangkat tersebut bekerja pada rentang frekuensi 0,1-1000MHz dan menghasilkan gain sebesar 20 dB untuk tegangan input V_{DC} sebesar 15 Volt pada frekuensi 7 MHz.



Gambar 3.31 *Low Noise Amplifier* tipe ZFL-1000

3.8.8 Penggunaan *Gigabit Ethernet*

Perangkat USRP memiliki *interface* LAN card dengan tipe kabel UTP berjenis *Gigabit Ethernet* yang dapat menghubungkan perangkat USRP dengan PC user. Penggunaan kabel *Gigabit Ethernet* pada Gambar 3.32 sangatlah penting dalam melakukan proses konektivitas dan pengaturan dari *software* LabView Communications dari PC user ke perangkat USRP.

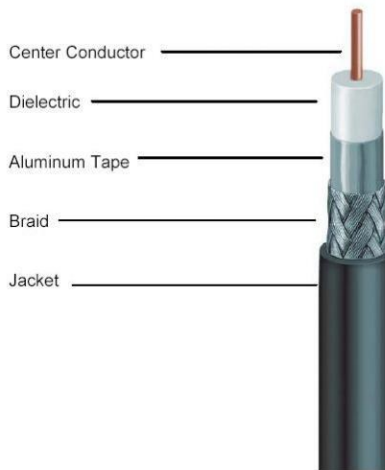


Gambar 3.32 Kabel *Gigabit Ethernet*

3.8.9 Penggunaan Kabel Koaksial

Pada sisi pemancar menggunakan *feeder* dengan jenis kabel koaksial dengan tipe RG 8 yang memiliki redaman sebesar $\pm 1,641$ dB/100 meter pada frekuensi 10 MHz. Kabel koaksial pada Gambar 3.33 memiliki impedansi saluran sebesar 50Ω .

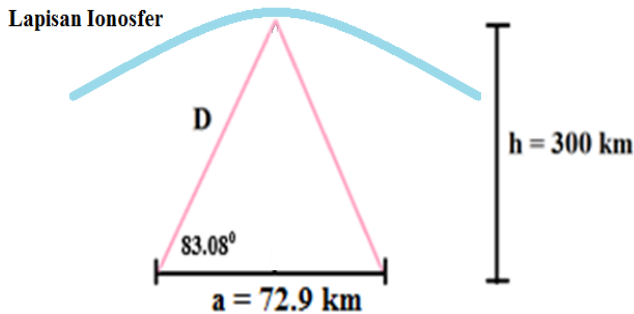
Kabel koaksial RG 8 ini digunakan untuk menghubungkan perangkat amplifier dengan antena pemancar. Dibutuhkan kabel koaksial RG 8 dengan panjang 30 meter pada pemancar 1 maupun pada pemancar 2. Penggunaan kabel RG 8 bertujuan sebagai saluran transmisi dari daya *output* perangkat amplifier HF dengan besar daya 20 Watt ke *port* catu antena. Sedangkan pada sisi penerima menggunakan kabel koaksial dengan tipe RG 58. Dimana atenuasinya sebesar 3,6091 dB/100 meter pada frekuensi 10 MHz.



Gambar 3.33 Kabel koaksial

3.9 Perhitungan *Link Budget* Kanal HF MIMO NVIS

Link budget merupakan cara untuk memperhitungkan besar daya pancar yang dibutuhkan untuk mencapai jarak propagasi sinyal dari sisi pemancar ke sisi penerima.



Gambar 3.34 Ketinggian virtual menentukan jarak propagasi

Pada perhitungan *link budget* diperlukan data mengenai jarak propagasi gelombang HF melalui lintasan *skywave*. Lintasan *skywave* yang ditunjukkan pada Gambar 3.34 diasumsikan memiliki ketinggian virtual pada lapisan F sebesar 300 km. Penelitian ini menggunakan *link* Surabaya–Malang yang memiliki jarak garis lurus atau LOS (*Line Of Sight*) sebesar 72,9 km. Untuk mengetahui jarak tempuh sebenarnya pada gelombang HF yang berpropagasi dalam *link* tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus *pythagoras* seperti berikut ini:

$$D = \sqrt{(0,5a)^2 + h^2} \text{ (km)} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} D &= (36,45^2 + 300^2)^{0.5} \text{ km} \\ D &= 302,21 \text{ km} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan besar nilai D , maka besar jarak tempuh gelombang dalam *link* Surabaya–Malang (d) dapat dihitung menjadi $2D$ yaitu sebesar 604,42 km. Kemudian besar redaman FSL (*Free Space Loss*) untuk *link* Surabaya–Malang dapat dihitung melalui persamaan berikut ini:

$$\text{FSL} = 32,45 + 20 \log (f \text{ MHz}) + 20 \log (d \text{ km}) \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \text{FSL} &= 32,45 + 20 \log (7) + 20 \log (604,42) \text{ dB} \\ \text{FSL} &= 104,93 \text{ dB} \end{aligned}$$

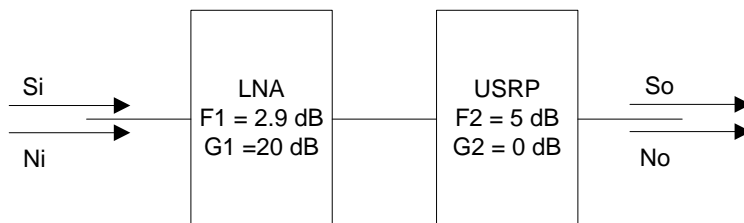
Tabel 3.7 Redaman pada lintasan *skywave*

Para-meter	Nama Parameter	Nilai	Keterangan
L_a	<i>Absorption loss</i>	16,9 dB	$L_a \propto 1/f^2$ Bernilai sekitar (0dB sampai 20 dB) /hop
L_b	<i>FSL (Free Space Loss)</i>	104,93 dB	$L_b = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$
L_g	<i>Multihop ground reflection loss</i>	0 dB	Bernilai antara (1dB sampai 3 dB)/reflection
L_p	<i>Polarization coupling loss</i>	3 dB	Bernilai antara 3-6 dB 3 dB digunakan pada waktu pengukuran baik (contohnya: cuaca cerah)
L_q	<i>Sporadic E obstruction loss</i>	1 dB	<i>function of sporadic E critical frequency</i> ; Bernilai antara 0-1 dB
A_T	<i>Total loss</i>	125,83 dB	$L_a + L_b + L_g + L_p + L_q$

Propagasi pada kanal HF untuk *link* Surabaya—Malang memiliki jenis redaman yang bermacam-macam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.7 [1]. Dimana redaman total untuk lintasan *skywave* pada *link* Surabaya—Malang adalah sebesar 125,83 dB. Kemudian besar nilai daya terima disisi penerima (P_{RX}) dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{FTX} + G_{TX} - A_T + G_{RX} + G_{A_RX} - L_{FRX} \quad (3.5)$$

Pada sistem disisi penerima terdapat beberapa perangkat RF (*Radio Frequency*) yang disusun secara bertingkat atau *cascade* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.35. Total *Noise Figure* pada sisi penerima akan mempengaruhi besar nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*). Sehingga besar *Noise Figure* total pada sisi penerima perlu diperhitungkan untuk dapat mengetahui apakah besar SNR yang dirancang sudah lebih besar dari SNR minimum. Besar nilai *Noise Figure* total dapat dihitung menggunakan formula Friis [10].



Gambar 3.35 Perangkat pada sisi penerima

Formula Friis :

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} \quad (3.6)$$

Kemudian besar daya *noise* perangkat dan besar SNR (*Signal to Noise Ratio*) didapatkan melalui persamaan berikut ini :

$$N_{\text{OUTPUT}} = F G_{A_{\text{RX}}} k T_o B \quad (3.7)$$

$$\text{SNR} = P_{\text{TX}} + G_{A_{\text{TX}}} + G_{A_{\text{RX}}} - N_{\text{OUTPUT}} - A_T \quad (3.8)$$

Dengan mensubstitusi nilai-nilai pada persamaan diatas akan didapatkan hasil perhitungan *link budget* pada link Surabaya–Malang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Perhitungan *link budget*

Simbol	Nama Simbol	Nilai	Keterangan
P_{TX}	Daya pemancar	13,01 dBW	Daya <i>output</i> pemancar 20 W
LF_{TX}	Redaman kabel pemancar	0,5 dB	RG-8 Belden Loss = 1.6 dB/100m
LF_{RX}	Redaman kabel penerima	0,9 dB	RG-58 Belden Loss = 3 dB/100m
$G_{A_{\text{TX}}}$	Gain antenna pemancar	3 dB	Gain antenna horizontal dipol
$G_{A_{\text{RX}}}$	Gain antenna penerima	3 dB	
G_{RX}	Gain LNA	20 dB	Gain perangkat LNA

A_T	<i>Pathloss</i>	125,83 dB	Total redaman dengan pemodelan <i>skywave</i>
P_{RX}	Daya penerima	- 88,2 dBm	Persamaan (3.5)
F	<i>Noise Figure</i>	2,95 dB	Persamaan (3.6)
k	Konstanta Blotzman	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K	-
T_o	<i>Noise Temperature</i>	290 ⁰ K	Temperatur noise
B	<i>Bandwidth</i>	10×10^3 Hz	<i>Bandwidth</i> penerima
N_{OUTPUT}	<i>Power noise output</i>	-141,03 dBW	$N_o = F G_{A_RX} k T_o B$
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>	34,23 dB	Perbandingan daya penerima dengan <i>noise output</i>
SNR_{MIN}	<i>Signal to Noise Ratio minimum</i>	10 dB	SNR minimum
DR	<i>Dynamic Range</i>	24,23 dB	Selisih SNR yang dimiliki

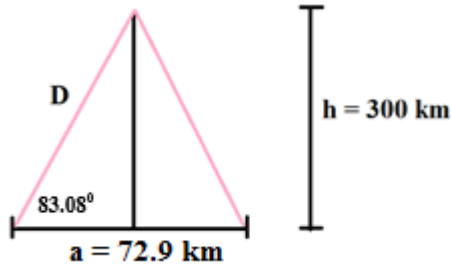
3.10 Perhitungan Sudut Elevasi *Link* Surabaya–Malang

Ketinggian ionosfer pada lapisan F adalah 300 km, sedangkan jarak antara *link* Surabaya–Malang adalah 72,9 km. Dari kedua parameter tersebut dapat dilakukan perhitungan sudut elevasi *link* Surabaya–Malang dengan menggunakan persamaan berikut:

$$tgA = \frac{h}{a/2} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} tgA &= \frac{300}{36.45} \\ tgA &= 8.23 \text{ (radian)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \arctan(8.23) \\ A &= 83.08^0 \end{aligned}$$



Gambar 3.36 Sudut elevasi *link* Surabaya–Malang

Sehingga didapatkan sudut elevasi pada *link* Surabaya–Malang adalah sebesar $83,08^\circ$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.36. Dimana besar sudut tersebut sudah sesuai dengan syarat sudut elevasi untuk sistem komunikasi HF NVIS yaitu sebesar $65^\circ - 90^\circ$ [1]. Sehingga desain pengukuran ini sudah dapat digunakan untuk pengukuran kanal HF MIMO NVIS pada *link* Surabaya–Malang.

BAB 4

PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS

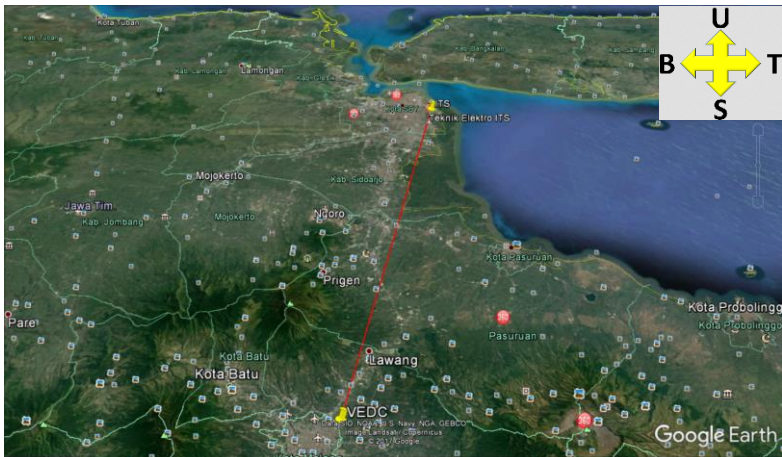
Pada bab ini akan dibahas mengenai implementasi desain sistem pengukuran kanal HF MIMO NVIS secara keseluruhan, pengujian disisi pemancar dan penerima, parameter yang digunakan juga analisis dari hasil pengukuran berupa *IQ Data* ke dalam bentuk respons kanal.

4.1 Sketsa Pengukuran

Sebelum melakukan tahap implementasi pengukuran pada kanal HF skema MIMO 2×2 menggunakan teknik NVIS, maka diperlukan tahap sketsa pengukuran yaitu seperti lokasi, pemasangan antenna, dan parameter pengukuran.

4.1.1 Lokasi Pengukuran

Pengukuran kanal HF MIMO NVIS ini diimplementasikan pada kota Surabaya sebagai sisi pemancar dan kota Malang sebagai sisi penerima seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Dimana jarak antara kota pemancar dan penerima yaitu sebesar 72,9 km pada pengukuran garis tegak lurus atau (*Line Of Sight*) untuk kasus *link* Surabaya—Malang.



Gambar 4.1 *Link* Surabaya—Malang

4.1.2 Pemasangan Antena

4.1.2.1 Antena Pemancar

Antena horizontal dipol yang digunakan pada pengukuran ini diusahakan untuk dipasang ortogonal pada sisi pemancar maupun pada sisi penerima. Hal tersebut berguna untuk menghindari efek korelasi silang [26].

Perancangan antena pada sisi pemancar di kota Surabaya ditunjukkan seperti pada Gambar 4.2. Dimana antena pemancar 1 (TX1) diletakkan di atas Gedung B dengan panjang antena ± 12 meter dan panjang dari Gedung tersebut yaitu 50 meter. Sedangkan antena pemancar 2 (TX2) dipasang diatas jembatan Gedung AJ dengan panjang antena ± 21 meter dan panjang dari Gedung tersebut yaitu 30 meter. Kedua antena pada sisi pemancar dipasang ortogonal dan diarahkan menuju ke kota Malang. Garis merah pada gambar tersebut merupakan garis tegak lurus atau LOS (*Line Of Sight*) pada *Link* Surabaya–Malang.



Gambar 4.2 Posisi antena pada sisi pemancar

Antena horizontal dipol pada sisi pemancar dipasang horizontal pada ketinggian ± 12 meter dari permukaan tanah dan dicatu oleh daya sebesar 20 Watt. Penggunaan teknik NVIS mengharuskan antena memiliki elevasi sebesar 65° - 90° , Sesuai dengan perhitungan untuk kasus *link* Surabaya–Malang yang diterangkan pada Bab 3 menjelaskan mengenai geometri sirkuit pada *link* tersebut. Dimana *link*

Surabaya—Malang memiliki elevasi sebesar $83,03^0$. Elevasi tersebut didapatkan dengan asumsi sinyal berpropagasi pada ketinggian ionosfer di lapisan F yaitu 300 km. Pengukuran ini menggunakan antena horizontal dipol yang memiliki pola radiasi omnidireksional. Dimana pola radiasi omnidireksional akan memancarkan dayanya ke segala arah. Sehingga penggunaan sudut elevasi untuk teknik NVIS sebesar $83,03^0$ dapat diimplementasikan dengan menggunakan antena horizontal dipol ini.

Polarisasi antena yang digunakan pada pengukuran ini ialah polarisasi horizontal pada sisi pemancar 1 maupun pemancar 2. Polarisasi antena ini termasuk dalam jenis polarisasi linier. Jenis polarisasi ini digunakan baik pada sisi pemancar maupun pada sisi penerima. Dengan menggunakan polarisasi yang sama pada antena jamak disisi pemancar maupun penerima diharapkan agar daya pada sistem penerima merupakan daya terima yang paling maksimum.

Pengukuran pada penelitian ini juga mempertimbangkan MUF (*Maximum Usable Frequency*) yang telah diterangkan pada Bab 2. Dimana MUF bergantung pada frekuensi kritis dan besar sudut datang atau elevasi antena. Frekuensi kritis (f_c) didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f_c = 9 \times 10^{-6} \sqrt{N_{max}} \text{ (MHz)} \quad (4.1)$$

Kerapatan elektron nilainya bervariasi sesuai dengan ketinggian ionosfer. Frekuensi angular (ω) memiliki persamaan $\omega^2 = N e^2 / (C_o m)$. Dengan N adalah kerapatan elektron, m adalah massa elektron dan C_o permitivitas di ruang hampa. Frekuensi angular ω disebut frekuensi plasma angular f_N , dengan $f_N = 2\pi / \omega$. Sehingga didapatkan persamaan $f_N^2 = 80,5 N$ dan frekuensi kritis $f_c \approx 9 \times 10^{-6} N^{1/2}$. Dimana besar kerapatan elektron pada siang hari untuk lapisan ionosfer pada lapisan F adalah sebesar 10^{12} e/m^{-3} . Dari nilai tersebut didapatkan frekuensi kritis sebesar 9 MHz [1].

Elevasi pada *link* Surabaya—Malang sebesar $83,03^0$ memiliki sudut kedatangan sebesar $6,97^0$. Melalui Persamaan (2.1) pada Bab 2 didapatkan frekuensi kritis sebesar 9,09 MHz. Sehingga sinyal pada frekuensi yang lebih besar dari 9,09 MHz akan lolos atau tembus lapisan ionosfer.

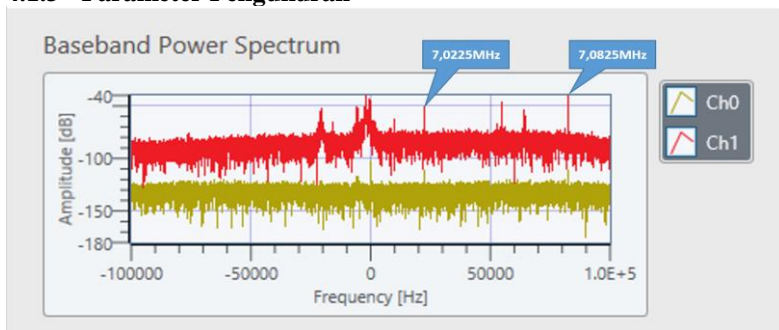
4.1.2.2 Antena Penerima

Pemasangan antena pada sisi penerima ditunjukkan pada Gambar 4.3 yang berada pada ketinggian ± 16 meter dari permukaan tanah. Antena yang dipasang pada sisi penerima diusahakan untuk diarahkan ke kota Surabaya. Dari garis merah yang terdapat pada gambar tersebut merupakan garis tegak lurus yaitu LOS (*Line Of Sight*) dari kota Malang ke kota Surabaya. Antena pada sisi penerima di kota Malang diusahakan untuk dipasang mengarah ke kota penerima yaitu Surabaya.



Gambar 4.3 Posisi antena pada sisi penerima

4.1.3 Parameter Pengukuran

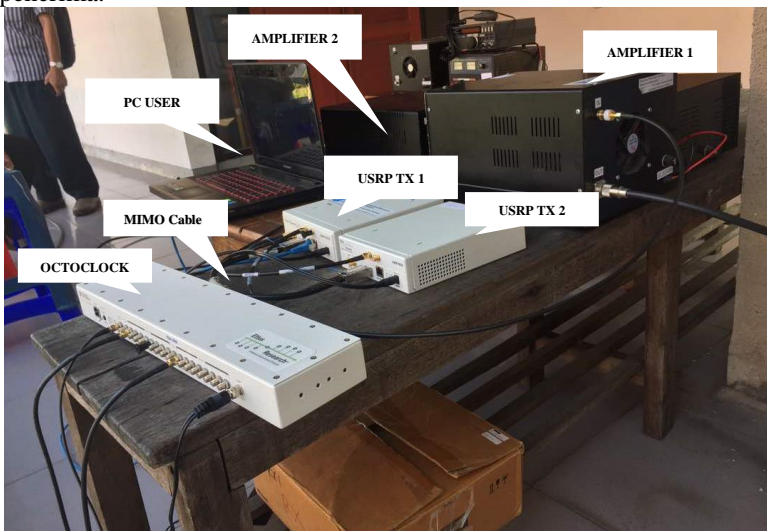


Gambar 4.4 Baseband spektrum sinyal disisi penerima

Pengukuran ini menggunakan frekuensi *carrier* sebesar 7,0225 MHz pada pemancar 1 dan 7,0825 MHz pada pemancar 2. Antena pada sisi penerima dikonfigurasi untuk menggunakan 2 buah frekuensi kerja yang sama yaitu pada 7,0 MHz. Pada sisi penerima akan diperhatikan sinyal pada 2 buah frekuensi pemancar yang diterima dalam rentang pita frekuensi 6,9-7,1 MHz baik pada *Channel 1* maupun pada *Channel 2* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dimana data yang diakuisisi pada pengukuran kali ini adalah berupa *IQ Data*.

4.2 Tahap Implementasi Pengukuran

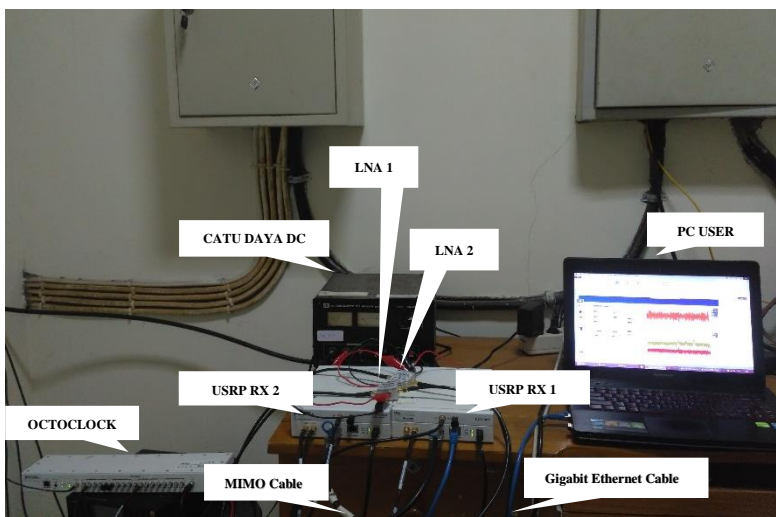
Implementasi sistem pada pengukuran ini dilakukan pada kota Surabaya sebagai sisi pemancar dan kota Malang sebagai sisi penerima. Dimana USRP dapat terhubung dengan PC user menggunakan kabel *Gigabit Ethernet*. Adapun perangkat yang digunakan pada proses pengukuran yang berlangsung pada kota Surabaya sebagai sisi pemancar ditunjukkan pada Gambar 4.5 maupun 4.6. Begitupula dengan perangkat yang digunakan pada proses pengukuran yang berlangsung pada kota Malang sebagai sisi penerima ditunjukkan pada Gambar 4.7 maupun 4.8. Adapun proses sinkronisasi perangkat didapatkan dengan menggunakan perangkat octoclock baik disisi pemancar maupun disisi penerima.



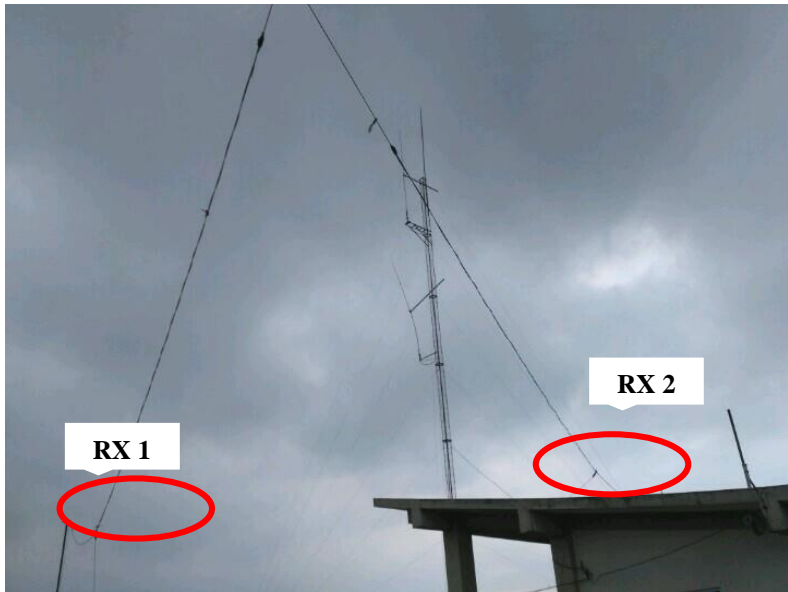
Gambar 4.5 Konfigurasi perangkat disisi pemancar



Gambar 4.6 Pemasangan antenna disisi pemancar



Gambar 4.7 Konfigurasi perangkat disisi penerima



Gambar 4.8 Pemasangan antenna disisi penerima

4.3 Pengujian Sistem disisi Pemancar

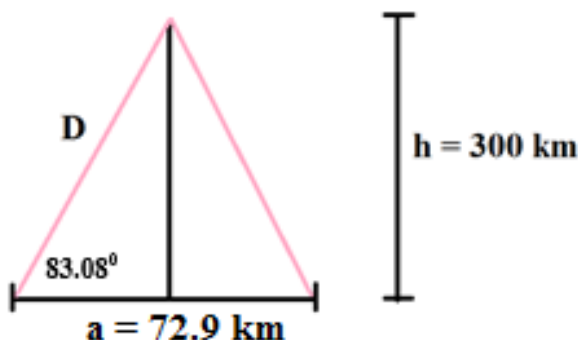
Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan di sisi pemancar yaitu menentukan besar periode sinyal dan frekuensi sinyal informasi yang akan digunakan, memeriksa daya *output* sinyal dari perangkat USRP maupun *output* amplifier yang akan digunakan, memeriksa hasil sinyal yang telah dikonfigurasi pada perangkat USRP ke dalam *time domain* yang diukur menggunakan osiloskop maupun spektrum sinyal *output* USRP yang dapat diukur menggunakan *Spectrum Analyzer*. Selain itu perlu melakukan pemeriksaan apakah perangkat USRP yang digunakan membangkitkan sinyal harmonisa atau tidak. Pemeriksaan selalu dilakukan jika ingin melakukan pengukuran.

4.3.1 Hasil Output Sinyal

Sinyal informasi berupa sinyal DC (*Direct Current*) yang dibangkitkan menggunakan perangkat USRP dikirimkan dengan menggunakan *IQ Rate* sebesar 200k*Sampling/secon*. Nilai tersebut merupakan nilai minimum yang dipergunakan pada perangkat USRP N210. Penggunaan sinyal DC sebagai sinyal infomasi yang digunakan

pada pengukuran kali ini bertujuan agar sinyal yang diterima pada sistem penerima dapat dengan mudah dianalisis. Sinyal DC tersebut dibangkitkan pada kedua buah sisi baik pada pemancar 1 maupun pemancar 2.

Melalui Persamaan (3.3) pada Bab 3 akan didapatkan nilai panjang lintasan propagasi pada *link* Surabaya–Malang adalah sebesar 320,21 km seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



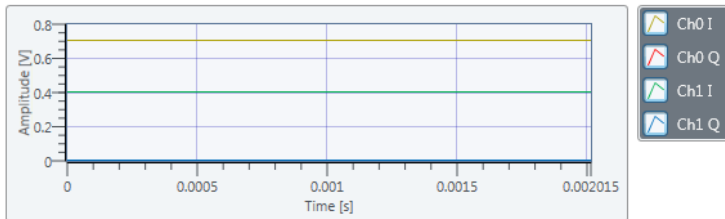
Gambar 4.9 Ilustasi jarak propagasi sinyal dari pemancar ke penerima

Melalui Persamaan (4.2) akan didapatkan besar waktu propagasi gelombang HF untuk *link* Surabaya–Malang. Waktu propagasi tersebut menentukan waktu perubahan kanal pada lapisan ionosfer. Jika waktu propagasi pada *link* Surabaya–Malang adalah sebesar 2,02 ms, maka dengan besar jumlah *IQ Rate* sebesar 200kSampling/secon membutuhkan jumlah *sample* sebanyak 404 sampel.

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{s}{c} & (4.2) \\
 t &= \frac{\text{jarak}}{\text{kecepatan cahaya}} \\
 t &= \frac{302.21 \times 10^3 \times 2 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \\
 t &= 2,0147 \text{ ms} \approx 2,02 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Besar sampel tersebut akan menghasilkan sinyal *IQ* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Sinyal DC tersebut dibangkitkan pada sisi pemancar 1 maupun pada pemancar 2.

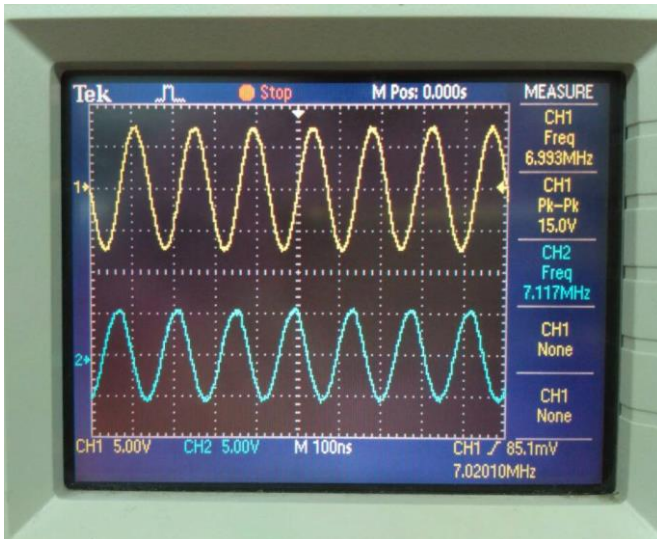
IQ Graph_TX



Gambar 4.10 Sinyal IQ DC pada TX1 dan TX2

Sinyal DC pada Gambar 4.10 ini akan dikalikan dengan sinyal carrier pada pemancar 1 yang menggunakan frekuensi 7,0225 MHz dan pada pemancar 2 yang menggunakan frekuensi 7,0825 MHz. Sinyal yang dikirimkan nanti pada antena pemancar 1 maupun antena pemancar 2 merupakan sinyal sinusoidal yang dapat diamati dalam bentuk *time domain* maupun *frequency domain*.

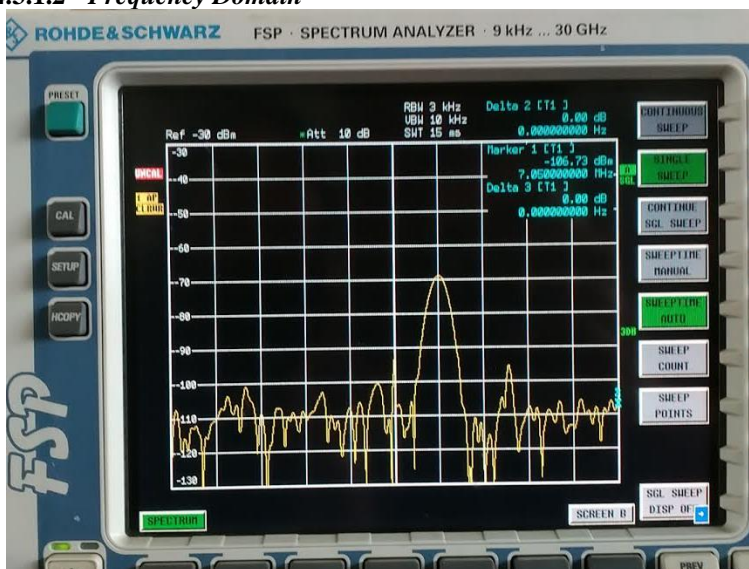
4.3.1.1 Time Domain



Gambar 4.11 Hasil *output* sinyal pada Ch 1 dan Ch 2 dalam *time domain*

Sinyal informasi yang dibangkitkan menggunakan sinyal sinusoidal dengan frekuensi 0 yang akan menghasilkan sinyal DC. Sinyal tersebut dikalikan dengan sinyal *carrier* berupa sinyal sinusoidal pada masing-masing frekuensi *carrier* pemancar yaitu pemancar 1 dengan frekuensi 7,0 MHz dan sedangkan pemancar 2 dengan frekuensi 7,1 MHz. Maka hasil *output* dari dua buah sisi pemancar akan menghasilkan sinyal sinusoidal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11. Sinyal tersebut nantinya akan diteruskan dan dikirimkan melalui antenna pemancar 1 maupun antenna pemancar 2.

4.3.1.2 Frequency Domain



Gambar 4.12 Daya *output* keluaran USRP

Berdasarkan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa daya *ouput* keluaran dari perangkat USRP adalah sebesar 30 dBm atau sebesar 1 mWatt.

Hal tersebut dapat dihitung dari :

Referensi	: -30 dBm
Atenuasi	: -10 dB
Sinyal terukur	: -70 dBm

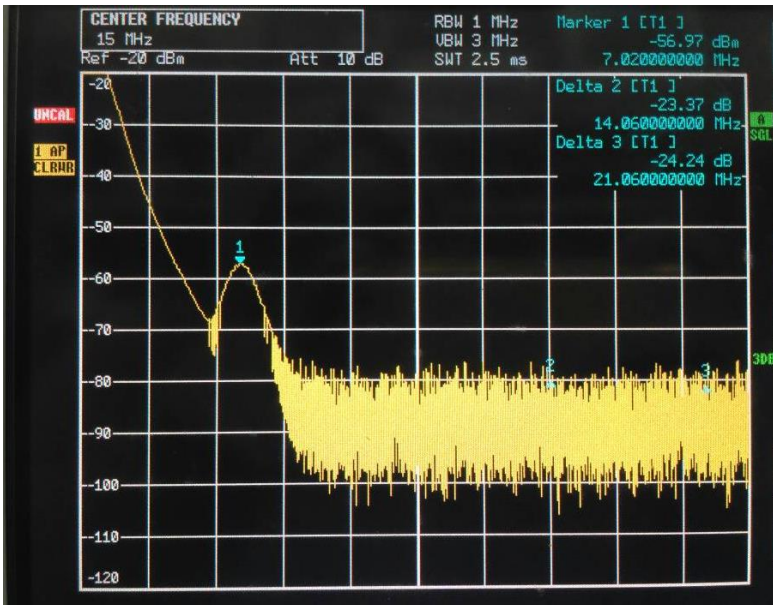
Maka sinyal dengan daya sebenarnya ialah sebesar:

$$P_{\text{OUT}}(\text{USRP}) = -70 \text{ dBm} - (-40 \text{ dB})$$

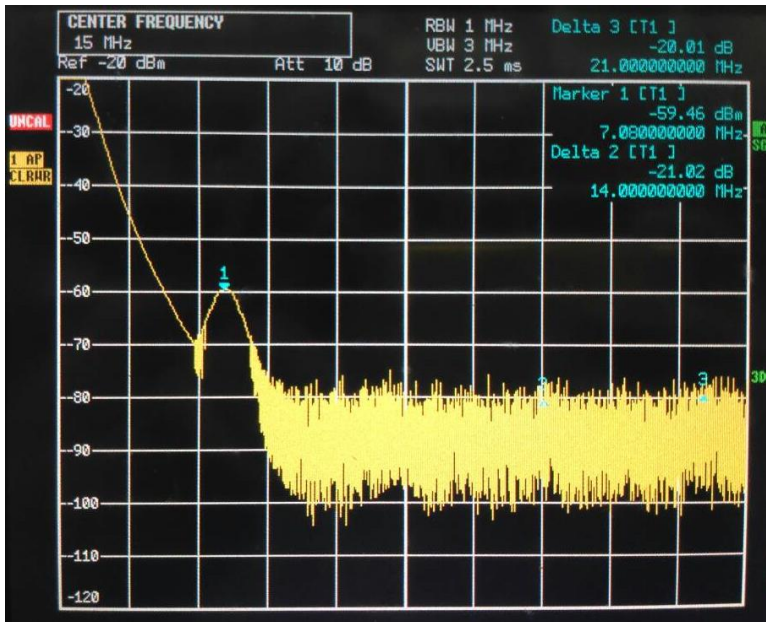
$$P_{\text{OUT}}(\text{USRP}) = -30 \text{ dBm}$$

$$P_{\text{OUT}}(\text{USRP}) = 1 \text{ mW}$$

Selain itu suatu desain sistem pengukuran perlu memperhatikan sinyal harmonik yang dapat saja dibangkitkan oleh perangkat radio yang digunakan seperti pada perangkat USRP. Maka perlu dilakukan pemeriksaan hasil spektrum dalam *frequency domain* pada sisi pemancar 1 dan pemancar 2 untuk memastikan apakah perangkat USRP tersebut menghasilkan sinyal harmonik pada rentang frekuensi 3-30 MHz atau tidak.



Gambar 4.13 Hasil *output* Spektrum pada Ch 1



Gambar 4.14 Hasil *output* Spektrum pada Ch 2

Dari Gambar 4.13 dan 4.14 menunjukkan bahwa baik pada sisi pemancar 1 maupun 2 di rentang frekuensi 0-22 MHz tidak ditemukan sinyal harmonisa. Tanda pada Point 1 menunjukkan spektrum sinyal pada frekuensi 7 MHz, sedangkan Tanda Point 2 menunjukkan spektrum sinyal harmonik pada frekuensi 14 MHz yang tidak ditemukan. Begitu pula dengan spektrum pada frekuensi 21 MHz yang ditandai pada Point 3 tidak juga ditemukan sinyal harmonisa.

Maka dapat dikatakan bahwa perangkat USRP yang digunakan pada pengukuran ini telah bekerja dengan baik yang ditandai dengan tidak ditemukannya sinyal harmonisa. Sehingga hal tersebut tidak akan menyebabkan *harmonic interference* yang dapat mengganggu pengguna spektrum lain pada rentang frekuensi 3-30 MHz.

4.3.1.3 Daya output amplifier



Gambar 4.15 Daya output amplifier HF

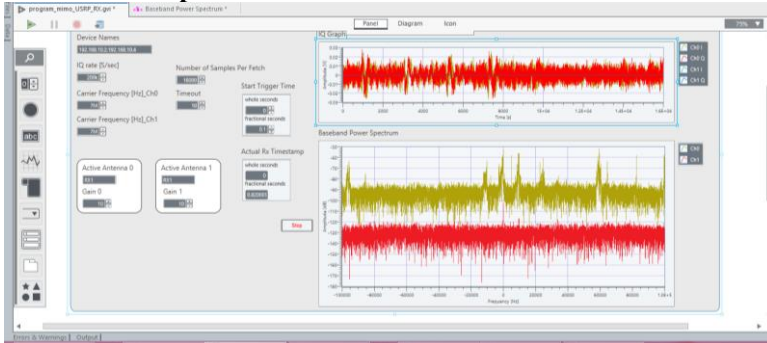
Sebelum melakukan proses pengukuran yaitu transmisi sinyal dari sisi pemancar perlu dilakukan pemeriksaan terhadap daya *output* pada perangkat amplifier. Jika daya pancar yang diinginkan pada *link budget* tidak sesuai pada hasil pengukuran, akan menyebabkan sinyal yang dikirimkan disisi pemancar tidak dapat diterima disisi penerima. Maka sebelum melakukan proses pengukuran perlu memastikan besar daya pancar yang dihasilkan oleh perangkat amplifier. Pada Gambar 4.15 menunjukkan bahwa rata-rata daya *output* yang dihasilkan oleh perangkat amplifier adalah sebesar ± 20 dBW baik pada pemancar 1 maupun pada pemancar 2.

4.4 Pengujian Sistem disisi Penerima

Subsistem penerima pada perancangan ini diletakkan di kota Malang. Subsistem ini terdiri dari perangkat LNA (*Low Noise Amplifier*) kemudian perangkat USRP yang disusun secara bertingkat baik pada sisi penerima 1 maupun penerima 2. Sebelum sinyal terima masuk ke perangkat USRP terlebih dahulu sinyal dari antenna penerima dikuatkan oleh sebuah LNA yang memiliki gain sebesar 20 dB. Sinyal *baseband* yang diterima berupa *IQ Data* yang diambil dengan format *IQ Rate* sebesar 200kSampling/secon dan *number of sample* sebesar 16000 sample/secon. Hasil *IQ Data* tersebut kemudian diolah menggunakan

software Matlab untuk didapatkan bentuk respons kanal dari tiap-tiap kanal yaitu h11, h12, h21, dan h22.

4.4.1 Hasil Respons Kanal

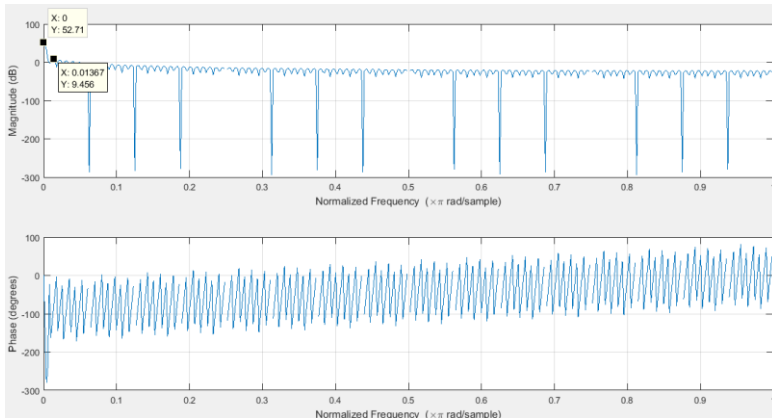


Gambar 4.16 Front Panel sisi penerima

Hasil data pengukuran respons kanal diatas dilakukan pada tanggal 19 Juni 2017 pukul 15:30 WIB. Data yang disimpan berupa nilai *IQ Data* pada kedua *channel* yang ditunjukkan seperti Gambar 4.16. *IQ Data* tersebut diakuisisi dan diolah menggunakan *software* Matlab untuk mendapatkan bentuk respons kanal. Proses untuk mendapatkan bentuk respons kanal dari masing-masing kanal adalah menggunakan proses demodulator dengan metode *product detector* yang berguna untuk mendapatkan sinyal informasi kembali.

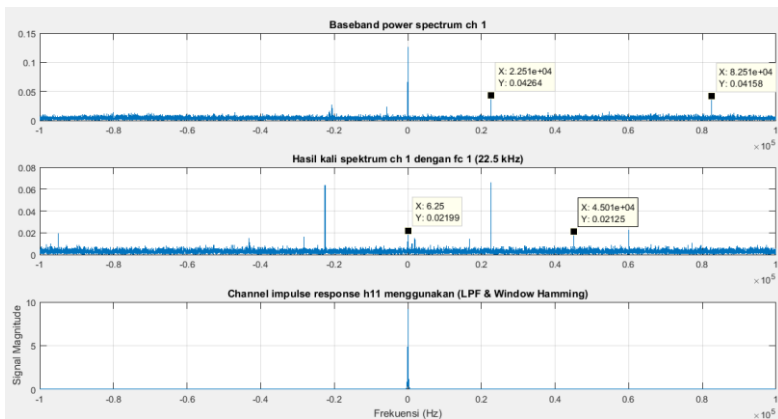
Setelah proses demodulator tersebut terlalui, kemudian akan dilanjutkan dengan proses filtering menggunakan LPF (*Low Pass Filter*) dengan teknik window Hamming. Berikut merupakan persamaan window Hamming:

$$w_{Ham}(n) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos \left[\frac{2\pi n}{N-1} \right], & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & n \text{ lainnya} \end{cases} \quad (4.3)$$



Gambar 4.17 LPF dengan window Hamming orde 800

Gambar 4.17 menunjukkan hasil filter yaitu LPF dengan window Hamming pada Persamaan (4.3) yang akan menghasilkan redaman *stopband* sebesar 54 dB. Sedangkan selisih antara power spektrum *main lobe* dan *side lobe* memiliki adalah sebesar 55,01 dB.

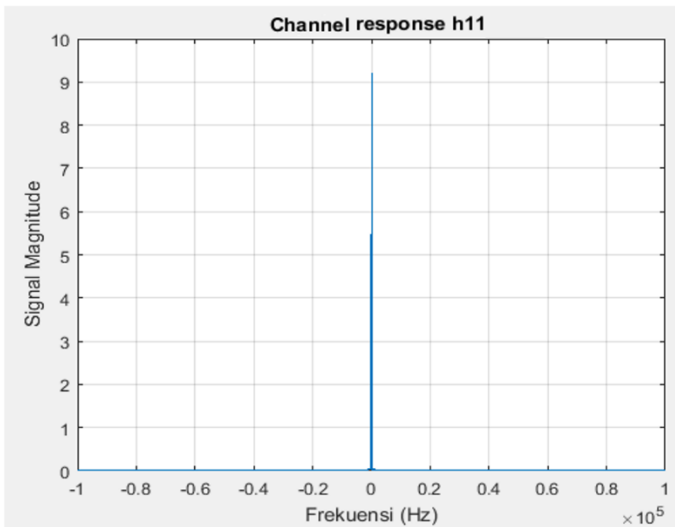


Gambar 4.18 Pengolahan *IQ Data* untuk mendapatkan *h11*

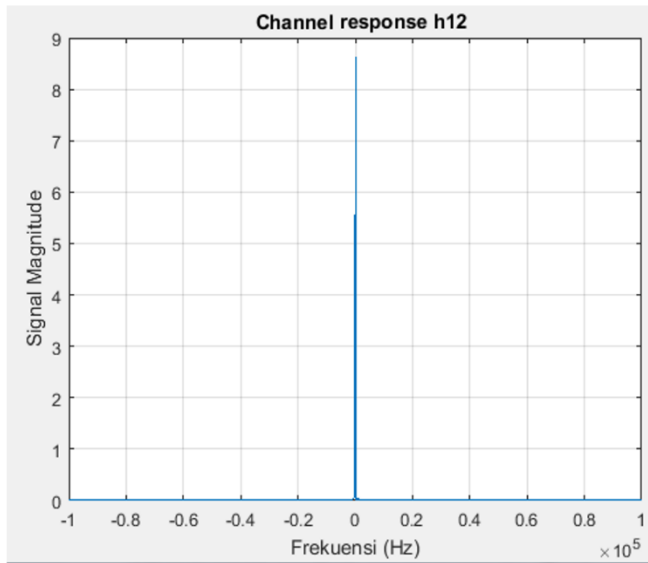
Pada sistem penerima diatur agar dapat menangkap sinyal frekuensi pada rentang 6,9-7,1 MHz yaitu dengan cara mengatur penggunaan parameter *IQ Rate* sebesar 200k *Sampling/secon* pada

perangkat USRP. Sinyal terima pada rentang frekuensi 6,9-7,1 MHz tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.18 (a). Dimana terdapat 2 buah sinyal yang menduduki frekuensi 22,5 KHz dan 82,5 KHz. Sinyal pada frekuensi tersebut merupakan sinyal *carrier* yang dikirim oleh pemancar 1 maupun pemancar 2.

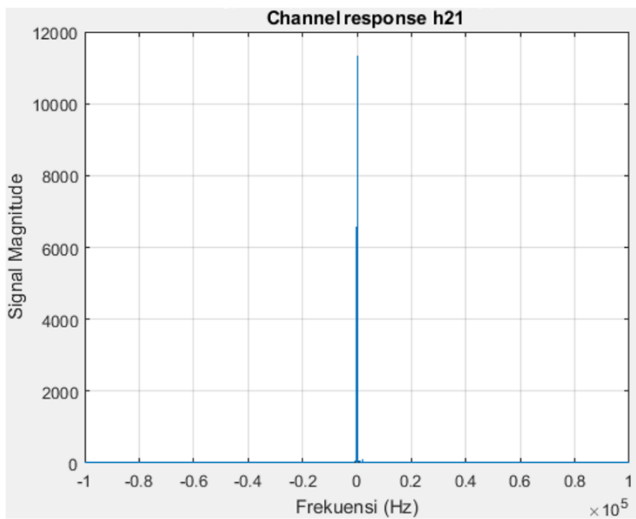
Kemudian untuk mendapatkan sinyal informasi kembali maka diterapkan metode *product detector* sebagai proses demodulator pada sisi penerima. Proses kerjanya ialah dengan mengalikan sinyal dengan frekuensi dirinya sendiri. Karena sinyal informasi berupa sinyal DC maka sinyal terima pada sisi penerima sudah berupa frekuensi *carrier*. Dengan mengalikan sinyal terima dengan frekuensi dirinya sendiri akan menghasilkan komponen sinyal pada frekuensi DC dan komponen sinyal pada frekuensi tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18 (b). Sinyal informasi pada frekuensi DC dapat diambil menggunakan filter jenis LPF (*Low Pass Filter*) dengan teknik window Hamming. Proses tersebut dilakukan bertahap sampai mendapatkan bentuk respons kanal pada pada kanal h11, h12, h21 dan h22.



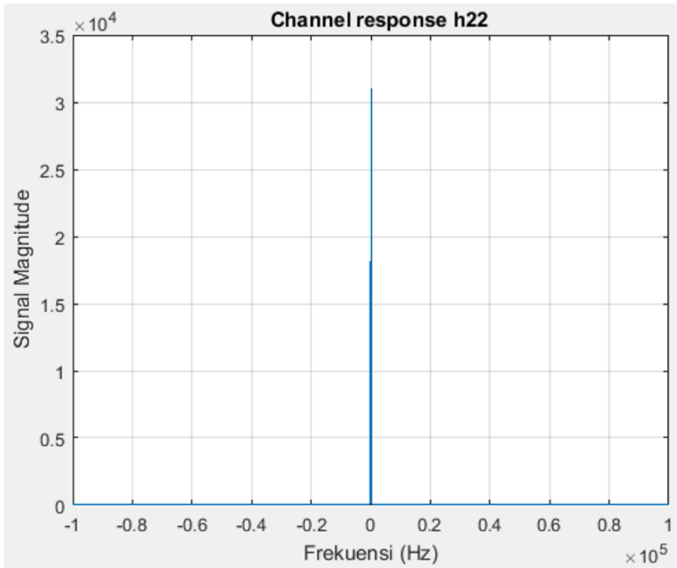
Gambar 4.19 Hasil respons kanal h11



Gambar 4.20 Hasil respons kanal h12



Gambar 4.21 Hasil respons kanal h21



Gambar 4.22 Hasil respons kanal h22

Hasil pengukuran pada kanal HF dengan menggunakan teknik NVIS pada konfigurasi multiantena dengan skema MIMO 2×2 menghasilkan bentuk respons kanal seperti yang ditunjukkan pada Gambar diatas. Gambar 4.19 adalah bentuk respons kanal yang disebut kanal h11 dimana sinyal yang dipancarkan oleh antenna pemancar 1 diterima oleh antenna penerima 1. Gambar 4.20 adalah bentuk respons kanal yang disebut kanal h12 dimana sinyal yang dipancarkan oleh antenna pemancar 2 diterima oleh antenna penerima 1. Gambar 4.21 adalah bentuk respons kanal yang disebut kanal h21 dimana sinyal yang dipancarkan oleh antenna pemancar 1 diterima oleh antenna penerima 2. Gambar 4.22 adalah bentuk respons kanal yang disebut kanal h22 dimana sinyal yang dipancarkan oleh antenna pemancar 2 diterima oleh antenna penerima 2. Respons kanal tersebut terdiri dari nilai kompleks seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Nilai-nilai tersebut yang nantinya dapat diolah dan dipergunakan lebih lanjut untuk keperluan perhitungan korelasi antar kanal maupun perhitungan kapasitas kanal.

Tabel 4.1 Hasil respons kanal pada pengukuran *link* Surabaya–Malang

Kanal	Nilai	
	Bilangan kompleks	Magnituda dan Phasa
h11	$1,0056 + j4,2499$	$12,8 \pm 76,69^0$
h12	$-1,0920 + j3,9268$	$12,2 \pm 105,5^0$
h21	$554,27 + j5663$	$75,1 \pm -84,41^0$
h22	$-9995,7 + j11215$	$83,54 \pm 131,7^0$

4.5 Sintesis

Berdasarkan dari hasil pengukuran yang telah dilakukan maka, desain pengukuran tersebut dapat digunakan untuk menguji ketersediaan *link* pada kasus Surabaya–Malang. Adapun beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan pengukuran kanal HF MIMO NVIS ini adalah melakukan pemeriksaan terhadap *output* keluaran setiap perangkat. Seperti pemeriksaan kembali parameter VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) pada ke 4 buah antenna untuk memastikan bahwa proses pemasangan antenna dan instalasinya tidak memperburuk nilai VSWR antenna tersebut. VWSR antenna tersebut dapat berubah jika di lingkungan pemasangan antenna terdapat beberapa *reflector*. Begitu pula perlu dilakukan pemeriksaan terhadap sinyal *output* dari perangkat USRP yaitu seberapa besar dayanya. Juga seberapa besar daya *output* pada perangkat amplifier di sisi pemancar 1 dan pemancar 2 pada saat proses pengukuran berlangsung. Hal tersebut perlu dilakukan agar proses pengukuran berjalan baik.

Persiapan dalam desain program pada sisi pemancar dan penerima menggunakan perangkat lunak LabView Communications. Setiap perubahan desain program tentunya akan mempengaruhi hasil *output* sinyal keluaran dari perangkat USRP. Sehingga perlu dilakukan pemeriksaan terhadap sinyal keluaran perangkat USRP apabila melakukan perubahan konfigurasi pada program pemancar maupun penerima. Sinyal *output* tersebut dapat diamati menggunakan alat ukur osiloskop (*time domain*) maupun menggunakan perangkat *Spectrum Analyzer* (*frequency domain*). Begitu juga perlu dilakukan pemeriksaan terhadap spektrum pada pemancar 1 maupun pemancar 2 untuk memastikan apakah perangkat USRP ini menghasilkan sinyal harmonisa atau tidak. Pemeriksaan sinyal harmonisa ini diukur dari frekuensi 3-30MHz. Hal tersebut perlu dilakukan untuk menghindari *harmonic interference* yang dapat mengganggu sistem komunikasi lain pada rentang frekuensi tersebut.

Persiapan perangkat lunak lainnya selain mendesain parameter USRP disisi pemancar maupun di sisi penerima. Input parameter tersebut yaitu seperti besar *IQ Rate*, *number of sample*, *frequency carrier* pada pemancar 1 (TX1) maupun pemancar 2 (TX2), *frequency carrier* pada penerima 1 (RX1) maupun pada penerima 2 (RX2), dan *frequency tone* yang akan digunakan. Hal tersebut perlu dikomunikasikan pada operator disisi pemancar maupun operator disisi penerima. Agar sinyal yang dikirim dapat diketahui sinyalnya disisi penerima. Persiapan perangkat keras lainnya seperti amplifier HF, LNA, octoclock, GPS, catu daya DC, perlu dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu sebelum melakukan proses pengukuran. Hal tersebut dilakukan agar pada saat proses pengukuran, semua perangkat sudah bekerja dengan baik.

Hasil data pada sisi penerima berupa sinyal *IQ Data* dapat ditampilkan ke dalam bentuk spektrum sinyal *baseband* pada frekuensi 6,9-7,1 MHz. *IQ Data* yang telah diakuisisi dapat disimpan dan diolah ke dalam bentuk respons kanal menggunakan *software* Matlab. Dimana sistem MIMO 2×2 akan menghasilkan 4 buah respons kanal yaitu kanal h11, h12, h21, dan h22. Dari Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pada kanal h11 dan h12 memiliki nilai respons kanal yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kanal h21 dan h22. Hal tersebut terjadi dikarenakan sinyal daya terima pada antenna penerima 1 maupun pada antenna penerima 2 tidaklah sama. Antena penerima 1 yang menangkap sinyal dari antenna pemancar 1 dan 2 menerima sinyal dengan daya terima sebesar -50 dBm. Sedangkan antenna penerima 2 yang menangkap sinyal dari antenna pemancar 1 dan 2 menerima sinyal dengan daya terima sebesar -120 dBm. Nilai-nilai tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.4. Perbedaan sinyal terima yang dialami oleh antenna penerima 1 dan antenna penerima 2 dapat disebabkan oleh proses pemasangan antenna di sisi penerima. Sehingga menyebabkan daya terima pada antenna penerima 2 lebih kecil daripada antenna penerima 1.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir yang dilakukan oleh penulis, maka kesimpulan yang dapat diperoleh adalah:

1. Sistem pengukuran respons kanal HF MIMO NVIS telah berhasil didesain dan diimplementasikan pada *link* Surabaya–Malang.
2. Pengukuran respons kanal HF NVIS MIMO diimplementasikan pada pemancar yang menggunakan 2 buah frekuensi yg berbeda, yang dipisahkan pada penerima menggunakan metode *product detector* dengan LPF (Window Hamming).
3. Dengan daya pancar 20 Watt, diperoleh DR (*Dynamic Range*) sebesar 24,23 dB yang mampu digunakan untuk menguji ketersediaan *link* Surabaya–Malang.
4. Pengukuran MIMO 2x2 berhasil menghasilkan 4 buah sinyal y_{11} , y_{12} , y_{21} , y_{22} , yang dapat diolah lebih lanjut untuk mendapatkan 4 buah respons kanal yaitu kanal h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} .

5.2 Saran

Dalam pengembangan sistem pengukuran komunikasi HF MIMO NVIS berikutnya dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut ini:

1. Perhatikan sinyal harmonisa yang dibangkitkan oleh perangkat USRP menggunakan *Spectrum Analyzer* maupun *output* daya pancar perangkat amplifier menggunakan power meter.
2. Selalu melakukan pemeriksaan terhadap seluruh *output* keluaran perangkat RF yang akan digunakan dalam proses pengukuran.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] McNamara, L.F. 1991. *The Ionosphere: Communication, Surveillance, Direction Finding*. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company.
- [2] Suhartini, S. 2011. *Komunikasi Radio High Frequency Jarak Dekat*. LAPAN, Indonesia.
- [3] Walden, M.C. *High-Frequency Near Vertical Incidence Skywave Propagation*. IEEE.
- [4] Rappaport, T.S. 2002. *Wireless Communication Principles and Practice*. Prentice Hall, USA.
- [5] Winters, J.H. 1994. *The Impact of Antenna Diversity on the Capacity of Wireless Communication Systems*. IEEE Transaction on Communications, Vol. 42 No.2/3/4.
- [6] Alamouti, S.M. 1998. *A simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications*. IEEE Journal on select Area in Communications, Vol.16, No.8.
- [7] Gunashekar, S.D. 2010. *MIMO Communications within the HF band using compact antenna arrays*. Radio Science, Vol. 45, RS6013.
- [8] Australian Government. 2007. *IPS Radio and Space Services, Introduction to HF Radio Propagation*. Sidney, Australia.
- [9] http://www.globalsecurity.org/intell/library/policy/army/fm/24-18/fm24-18_3.htm diakses tanggal: 2 April 2017.
- [10] Jiyo. “*Analisis Propagasi Gelombang Radio HF dan Radius Daerah Bisu*”. LAPAN, Indonesia.
- [11] Witvliet, dkk. 2014. *The Importance of Circular Polarization for Diversity Reception and MIMO in NVIS Propagation*. The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014).
- [12] Sengar, K., dkk. 2014. *Study and Capacity Evaluation of SISO, MISO, and MIMO RF Wireless Communication System*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol 9, No.9, p.1.
- [13] Garcia, L., dkk. 2006. *Measurement of MIMO Capacity at 1800 MHz with In-and Outdoor Transmitter Location*, Proceeding EcCAP 2006. Perancis.
- [14] <http://www.antenna-theory.com/definitions/balun.php> diakses pada tanggal 3 Juli 2017.

- [15] Stutzman, W. L. dan Thiele, G.A. 2012. *Antenna Theory and Design*, United States Of America : John Wiley & Sons Inc.
- [16] http://www.oocities.org/husni_ums/sislin/sislin05.htm. diakses tanggal : 13 Maret 2017.
- [17] Tim Pengampu Mata Kuliah. Pengolahan Sinyal Digital. Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [18] Oppenheim, A.V. 1999. *Discrete Time Signal Processing*. Prentice Hall, Second Edition.
- [19] Tranter, William. 2004. *Principles of Communication System Simulation with Wireless Application*. Prentice Hall, New Jersey.
- [20] <https://www.slideshare.net/SandeshPoovaiah/software-defined-radio-48181899>. Diakses tanggal : 3 Maret 2017.
- [21] Marpanji, Eko, dkk. *Aplikasi Platform Komputasi Software Define Radio (SDR) untuk Digital Spectrum Analyzer*. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HF1 Jateng dan DIY. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [22] Peraturan Menteri No.25 Tahun 2014 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia. http://www.postel.go.id/downloads/40/20141008142814-PM_25_Tahun_2014-1.pdf diakses tanggal 3 April 2017.
- [23] *Spectrum Requirements for the Amateur and Amateur-satellite Services*. International Amateur Radio Union. Revised November 2014. <http://www.iaru.org/> diakses tanggal 2 Februari 2017.
- [24] Recommendation ITU-R F.339-8 (02/2013). Bandwidth, signal-to-noise ratios and fading allowances in HF fixed and land mobile radiocommunication systems.
- [25] Chang, Kai. 2000. *RF and Microwave Wireless Systems*. NewYork: John Wiley & Sons, Inc.
- [26] Sari, L. 2010. *Analisa Kinerja RCPC V-BLAST MIMO Pada Kanal Fading Nakagami-m*. Fakultas teknik Univeristas Indonesia, Depok.
- [27] https://www.ettus.com/content/files/07495_Ettus_N200-210_DS_Flyer_HR_1.pdf diakses tanggal 8 Mei 2017.

LAMPIRAN A

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Sarah Lasroma Manalu
Nomor Pokok : 2215 105 007
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2016/2017
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.
Judul Tugas Akhir : **Desain Sistem Pengukuran Respon Impuls Kanal HF MIMO NVIS (Near Vertical Incident Skywave)**
Design of Impulse Response Measurement System for HF MIMO NVIS (Near Vertical Incident Skywave)


10 FEB 2017


Uraian Tugas Akhir :

Sistem komunikasi HF (*High Frequency*) merupakan gelombang radio yang berkerja pada frekuensi 3-30 MHz. Sistem komunikasi ini memanfaatkan ionosfer sebagai lintasan propagasi gelombang radio. Komunikasi HF biasanya digunakan untuk komunikasi jarak jauh yang dalam implementasinya terdapat daerah yang tidak menerima sinyal yang biasa disebut *skip zone*. Efek *skip zone* dapat diatasi dengan mengimplementasikan teknik HF NVIS (*Near Vertical Incident Skywave*). NVIS adalah pemantulan satu kali oleh lapisan F ionosfer dengan sudut pancaran mendekati 90° atau vertikal. Sistem komunikasi HF dikenal memiliki *bandwidth* yang sempit karena frekuensi kerja yang rendah. Untuk meningkatkan ketersediaan dan kapasitas kanal yang terbatas tersebut, maka diimplementasikan juga antena jamak atau MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) yang saling *orthogonal* baik di sisi pengirim maupun penerima. Dimana sistem pengukuran kanalnya menggunakan SDR (*Software Define Radio*) untuk modul komunikasi digital yang *programmable*. Desain sistem pengukuran ini bertujuan untuk mendapatkan pemodelan kanal HF MIMO NVIS berupa respon impuls kanal. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis melakukan perancangan sistem pengukuran untuk mendapatkan respon impuls kanal sebagai dasar pemodelan kanal HF MIMO NVIS.

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,


Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng. Ph.D.
NIP. 197011111993031002


Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.
NIP. 196109031989031001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1,

Dedet C. Riawan, ST, M.Eng. Ph.D.
NIP. 1973111192000031001

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan
Propagasi,

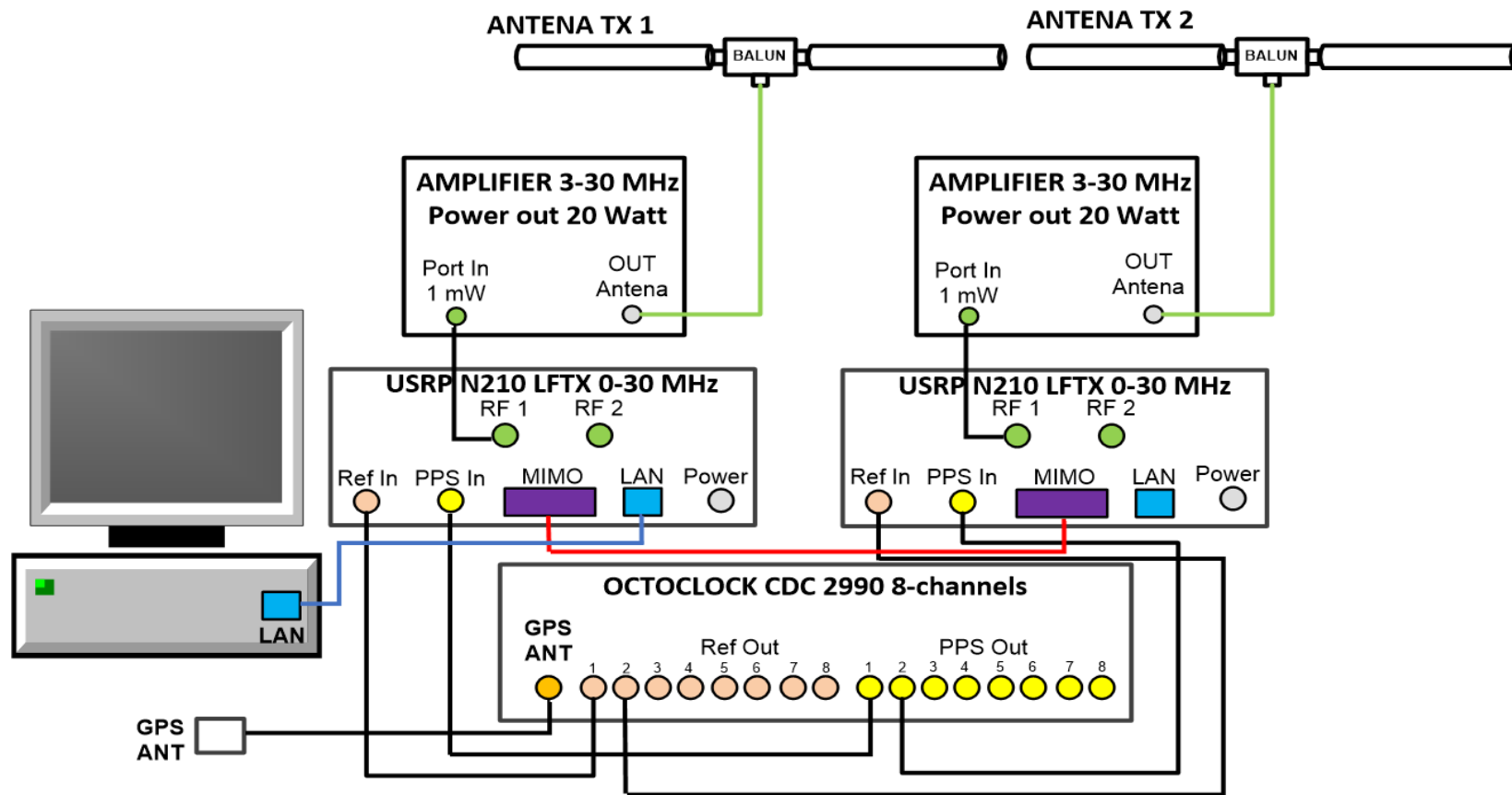
Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng. Ph.D.
NIP. 197011111993031002

LAMPIRAN B

SET-UP PENGUKURAN DI SISI PENERIMA



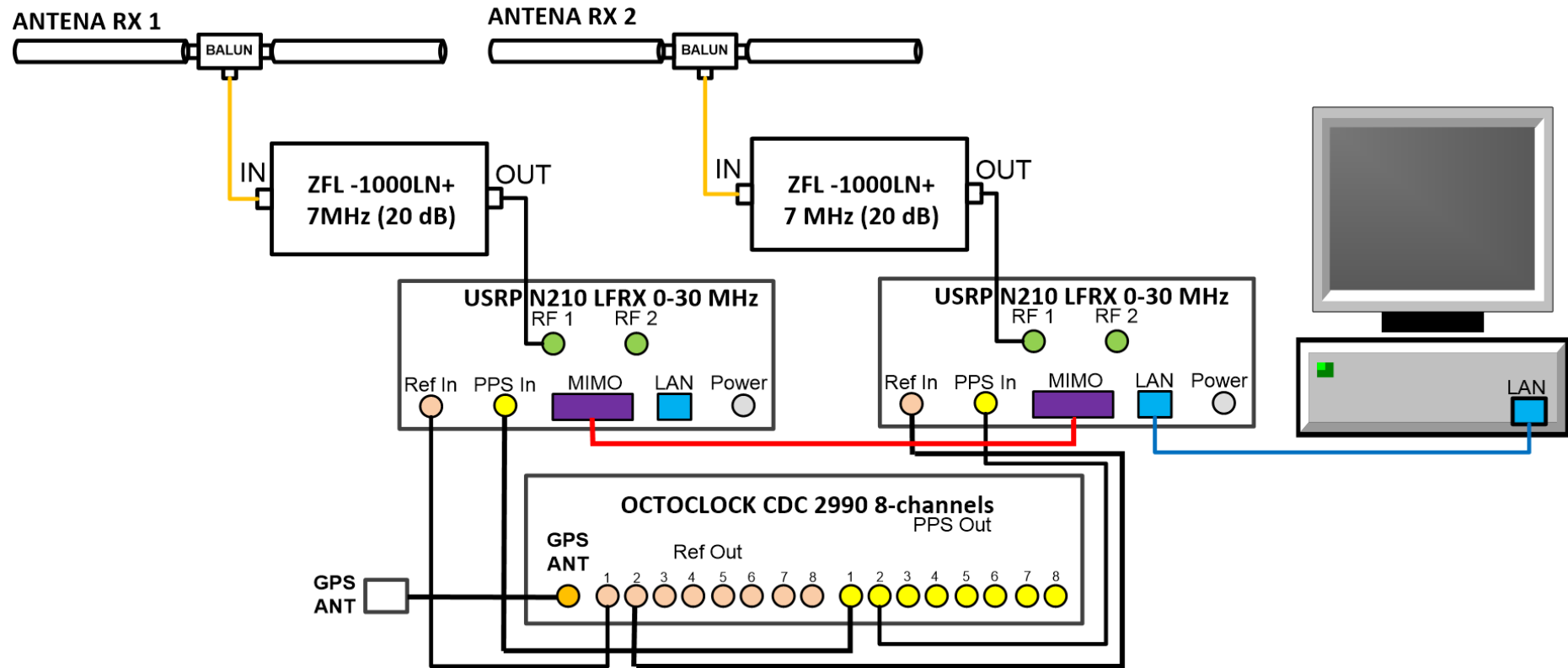
DESAIN SISTEM KESELURUHAN PADA SISI PEMANCAR



Keterangan:

- Kabel SMA
- Kabel RG 8
- Kabel RG 58
- Kabel Ethernet
- Kabel MIMO

DESAIN SISTEM KESELURUHAN PADA SISI PENERIMA



Keterangan:

- Kabel SMA
- Kabel RG 8
- Kabel RG 58
- Kabel Ethernet
- Kabel MIMO

LINK SURABAYA–MALANG



Keterangan : — Antena Horizontal Dipol

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RIWAYAT PENULIS



Penulis adalah lulusan SMAN 11 Bandung yang kemudian melanjutkan studinya di D3 Teknik Telekomunikasi - Politeknik Negeri Bandung pada tahun 2011.

Pada bulan Juni 2014 penulis mengikuti Seminar dan Ujian Tugas Akhir dengan judul “Implementasi Virtual Private Server menggunakan XenServer Hypervisor” pada program studi D3 Teknik Telekomunikasi sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md).

Sedangkan pada bulan Juli 2017 penulis mengikuti sidang Tugas Akhir dengan judul “Desain Sistem Pengukuran Respons Impuls Kanal HF MIMO NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*)” untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.).

Nama	: Sarah Lasroma Manalu
NRP	: 2215105007
Tempat, tanggal lahir	: Bandung, 30 September 1993
Nomor telepon	: 082230713107
E-mail	: sarahlasroma@gmail.com

[Halaman ini sengaja dikosongkan]